

**IDENTIFICACIÓN DE LAS CAUSAS DEL NO CUMPLIMIENTO DE LAS PRUEBAS
ELÉCTRICAS EN LA FABRICACIÓN DE BATERÍAS DE PLOMO ACIDO DE
ARRANQUE**

ING. Alfredo Gómez Fonseca



**Universidad del Costa – CUC
Maestría en Ingeniería
Barranquilla,
Colombia
2019**

**IDENTIFICACIÓN DE LAS CAUSAS DEL NO CUMPLIMIENTO DE LAS PRUEBAS
ELÉCTRICAS EN LA FABRICACIÓN DE BATERÍAS DE PLOMO ACIDO DE
ARRANQUE**

ING. Alfredo Gómez Fonseca

**Trabajo de Grado presentado para optar al título de Magíster en Ingeniería con énfasis en
Ingeniería Industrial**

**Ph. D. Juan José Cabello
Msc. Milén Balbis Morejón**

**Universidad del Costa – CUC
Maestría en Ingeniería
Barranquilla,
Colombia
2019**

Nota de Aceptación

Jurado 1:

Jurado 2:

Barranquilla

Fecha: _____

Resumen

El presente proyecto se ideó a partir de la necesidad de establecer y conocer las causas principales por las cuales las baterías plomo-acido no arrojan resultados satisfactorios en las pruebas eléctricas que son objeto de estudio: Capacidad de Reserva y Capacidad de Arranque en Frío. Para tal fin, se hizo necesario realizar un análisis retrospectivo y estadístico de los resultados de estas pruebas en un período de 2 años en la empresa Baterías Willard S.A. A través de la implementación del método Delphi y con la participación de expertos profesionales y técnicos de la organización, se pudieron determinar cuáles son los factores que principalmente podían influir en el resultado eléctrico esperado y de esta manera comenzar a profundizar en ellos para evaluar su influencia y posteriormente con este diagnóstico definir medidas de mejoras operacionales para controlar el buen desempeño de estos factores. La entrevista realizada a los expertos evidenció la oportunidad de la realización de este trabajo, debido a que se notó ausencia de certeza absoluta sobre los factores que influyen y por ende este estudio le permite a la organización tener herramientas objetivas y estadísticas para poder garantizar resultados conformes y consistentes en el tiempo para estas pruebas eléctricas. Por último, se pudo evidenciar como los resultados eléctricos de capacidad de reserva tienen estrecha relación con los factores identificados, así como también la casi nula influencia que los factores identificados tienen sobre los resultados de la prueba de arranque en frío.

Palabras Clave: Batería de plomo, prueba eléctrica, regresión lineal, prueba de hipótesis.

Abstract

This project designed based on the need to establish and know the main causes for which lead-acid batteries do not produce satisfactory results in the electrical tests under study: Reserve Capacity and Cold Start Capacity. For this purpose, it was necessary to perform a retrospective and statistical analysis of the results of these tests over a period of 2 years at the company Baterías Willard S.A. Through the implementation of the Delphi method and with the participation of professional and technical experts, it was possible to determine the factors that could mainly influence the expected electrical result. Thus, begin to deepen them to assess their influence and later with this diagnosis define operational improvement measures to control the good performance of these factors. The interview with the experts showed the opportunity to carry out this work. Because, there was an absence of absolute certainty about the factors that influence and therefore this study allows the organization to have objective and statistical tools to ensure consistent results. In addition, consistent over time for these electrical tests. Finally, it was possible to demonstrate the closely related between the electrical results of reserve capacity and the identified factors, as well as the almost null influence that the identified factors have on the cold start test results.

Keywords: Lead acid battery, electrical test, linear regression, hypothesis test

Contenido

Lista de Tablas y Figuras.....	8
Introducción.....	11
1. Planteamiento del problema.....	12
2. Objetivos.....	13
2.1. Objetivos específicos.....	13
3. Justificación.....	13
4. Marco Teórico.....	15
4.1. Estado del Arte.....	15
4.2. Referentes teóricos.....	18
5. Caracterización del Proceso de Producción.....	24
5.1. Historia Baterías Willard S.A.....	24
5.2. La Organización.....	27
5.3. Certificaciones de la Empresa.....	28
5.4. Estructura Organizacional de Baterías Willard S.A.....	31
5.5. Talento Humano.....	33
5.6. Recursos Productivos.....	34
5.7. Maquinarias y equipos.....	36
5.8. Proceso de producción.....	37
5.9. Elaboración de Grupos (Ensabrado).....	44
5.10. Quemado de Puentes.....	44
5.11. Ensamble de la Batería.....	45
5.12. Proceso de Carga y Acabado.....	45
5.13. Capacidad de Producción de la Empresa.....	46
5.14. Sistema de Gestión y Control de la Calidad de la Organización.....	47
5.15. Análisis del Modo y Efecto de la Falla Potencial (AMEF).....	48
5.16. Planes de Control.....	55
5.17. Pruebas de Calidad en el Proceso Productivo.....	63
6. Metodología.....	88
6.1. Herramientas y Técnicas Estadísticas Empleadas.....	88
7. Análisis y Resultados.....	96

7.2. Aplicación segunda ronda de método Delphi.	102
7.3. Recolección de datos, cálculos y resultados.	105
Conclusiones	115
Referencias	116
Anexo 1	123
Anexo 2	136

Lista de Tablas y Figuras

Tablas

Tabla 2.1. Listado de Maquinas.....	37
Tabla 2.2. Criterio de Evaluación Sugerido para Severidad de AMEF.	50
Tabla 2.3. Criterio de Evaluación de Ocurrencia.....	52
Tabla 2.4. Criterios de Evaluación Sugeridos para Detección.	54
Tabla 2.5. Formato Plan de Control.	57
Tabla 2.6. Requisitos aplicables a las Características Objeto de Estudio.	87
Tabla 3.7. Listado de Expertos Método Delphi.	97
Tabla 3.8. Cuestionario Método Delphi.	101
Tabla 3.9. Cuestionario Método Delphi 2da. Ronda.....	104

Figuras

Figura 2.1. Certificación IATF 16949.....	29
Figura 2.2. Certificado ISO 9001.....	29
Figura 2.3. Certificación ISO 14001.....	30
Figura 2.4. Certificación BASC.....	30
Figura 2.5. Organigrama organizacional Baterías Willard S.A.....	31
Figura 2.6. Organigrama del Sistema de Gestión de la Calidad Baterías Willard S.A.	32
Figura 2.7. Organigrama del Sistema de Gestión Ambiental Baterías Willard S.A.	32
Figura 2.8. Organigrama de Control y Seguridad Baterías Willard S.A.....	33
Figura 2.9. Diagrama de Flujo del Proceso de Producción. Parte 1.	38
Figura 2.10. Diagrama de Flujo del Proceso de Producción. Parte 2.	39

Figura 2.11. Diagrama de Flujo del Proceso de Producción. Parte 3.	40
Figura 2.12. Formato AMEF	49
Figura 2.13. Panel de Rejilla.	64
Figura 2.14. Rejilla Individual.	64
Figura 2.15. Medición Espesor Rejilla.	65
Figura 2.16. Medición Espesor Oreja.	65
Figura 2.17. Agrietamientos.	66
Figura 2.18. Trama Débil.	67
Figura 2.19. Trama Mal Llenada.	67
Figura 2.20. Rebaba.	68
Figura 2.21. Mal Corte.	69
Figura 2.22. Marco Partido.	69
Figura 2.23. Medición Temperatura después del Ácido.	71
Figura 2.24. Medición Temperatura Final de la Mezcla.	71
Figura 2.25. Medición de la Densidad de la Mezcla.	72
Figura 2.26. Medición Plasticidad de la Mezcla.	72
Figura 2.27. Medición de la Humedad Material Activo.	73
Figura 2.28. Medición Temperatura Salida del Túnel.	74
Figura 2.29. Alveolo Faltante.	75
Figura 2.30. Mal Empaste.	75
Figura 2.31. Placa Agrietada.	76
Figura 2.32. Oreja Sucia.	77
Figura 2.33. Placa Combada.	77

Figura 2.34. Proceso de Curado 1	78
Figura 2.35. Proceso de Curado 2	79
Figura 3.36. Resultados Método Delphi 1.....	102
Figura 3.37. Resultados Método Delphi 2.....	102
Figura 3.38. Resultados Preguntas Método Delphi 2da. Ronda 1..	104
Figura 3.39. Resultados Preguntas Método Delphi 2da. Ronda 2.	104
Figura 3.40. Análisis de regresión lineal para el arranque en frío.	106
Figura 3.41. Resultados del análisis de regresión lineal.	107
Figura 3.42. Resistividad de los materiales.	108
Figura 3.43. Informe de predicción de la regresión.	110
Figura 3.44. Informe de diagnóstico de la regresión.....	110
Figura 3.45. Informe de selección de modelo de la regresión.....	111
Figura 3.46. Diagrama de Causa-Efecto 6M.	112
Figura 3.47. Acciones Preventivas y/o Correctivas Propuestas	113

Introducción

En la actualidad aproximadamente un 85% del consumo total mundial de plomo se destina a la producción de baterías de plomo-ácido un mercado con tendencia de crecimiento acelerado, especialmente en Asia. Estas baterías se usan principalmente en vehículos motorizados, para el almacenamiento de energía generada por células fotovoltaicas y turbinas eólicas, y para suministrar energía eléctrica de reserva tanto para el mercado del consumidor como para sistemas críticos tales como las telecomunicaciones y los hospitales. En los países en desarrollo con deficiencia en el servicio eléctrico, se usa a nivel nacional baterías de plomo-ácido para la iluminación y otros aparatos eléctricos. El crecimiento en el uso de fuentes de energía renovable y la necesidad de baterías de almacenamiento, así como la creciente demanda de vehículos motorizados al tiempo que los países atraviesan un desarrollo económico, indican que la demanda de baterías de plomo-ácido seguirá aumentando. Esto queda reflejado en la creciente demanda mundial de plomo refinado, que se estimó en 11,79 millones de toneladas para el 2019 ILZSG (2018). La demanda se satisface con incrementos tanto en la producción primaria de plomo en minas como en el reciclaje. De hecho, actualmente, más de la mitad de la producción mundial de plomo procede del reciclaje de plomo.

La batería de plomo-ácido es desde hace más de un siglo el sistema utilizado para almacenar y suministrar la energía eléctrica que consumen los automóviles. Por otro lado, el espectacular crecimiento que el parque automovilístico mundial está protagonizando en los últimos años, está propiciando que la generación de vehículos fuera de uso y de todos los residuos vinculados a éstos, aumente también considerablemente. La batería de plomo es uno de los residuos catalogados como especiales que acompañan irremediabilmente a un vehículo fuera de uso. Además, la batería de un automóvil se reemplaza por otra nueva cada tres o cuatro años.

Estos factores conducen a que la generación de baterías de plomo fuera de uso alcance valores muy elevados y en continuo crecimiento en todo el mundo.

En el caso de Colombia, el mercado automotor apunta a un consumo aproximado mensual de 150.000 baterías, el cual se encuentra principalmente abastecido por 2 fábricas de tamaño considerable y una de tamaño pequeño; la otra porción del mercado la ocupan los importadores.

1. Planteamiento del problema

El éxito del desempeño de las baterías plomo ácido se centra en su calidad y duración y por ende en todo el seguimiento estricto y los controles de calidad que se establezcan durante todo el proceso de fabricación. Los principales indicadores de la correcta fabricación y ensamblaje de las baterías son las respuestas eléctricas que estas brindan para las diferentes necesidades que deben satisfacer. En este orden de ideas, si el producto muestra una falla en alguna de las pruebas intermedias durante el proceso, se puede pensar en la implementación de medidas correctivas que mitigue el impacto en el producto final, pero si la falla es dada en alguna prueba eléctrica de las realizadas en la línea final, además de incrementar los costos por la no calidad, se corre el riesgo de enviar lotes de tamaño considerables con potenciales fallas que redunden en altas devoluciones. Es por esto, que se plantea la necesidad de mejorar el resultado de las pruebas eléctricas de las baterías mediante mejoras operativas consistentes, lo que origina entonces la pregunta de investigación del presente proyecto:

¿Cómo puede reducirse el elevado nivel de no cumplimiento de las pruebas eléctricas en las baterías de plomo ácido?

2. Objetivos

Identificar las causas del alto nivel de no cumplimiento de las pruebas eléctricas en la fabricación de baterías plomo ácido.

2.1. Objetivos específicos

- Identificar los factores que pueden influir en el no cumplimiento de las pruebas eléctricas en las baterías.
- Identificar los factores que estadísticamente influyen en el no cumplimiento de las pruebas eléctricas en las baterías.
- Proponer un plan de acciones para reducir los niveles de no cumplimiento en las pruebas eléctricas.

3. Justificación

La importancia de esta investigación radica en que al tener un diagnóstico y una propuesta viable, se pueden mejorar los resultados no conformes de las pruebas eléctricas que se realizan a las baterías. Con la propuesta a analizar, se pretende mejorar el desempeño eléctrico de las baterías a través de la intervención de los procesos que se definan como críticos y determinantes en los resultados de las pruebas. Esto necesariamente requiere analizar el comportamiento de los resultados y posteriormente experimentar con variaciones y controles de los parámetros que se identifiquen como importantes para el logro de los resultados eléctricos esperados y así de esta forma asegurar su cumplimiento a lo largo del proceso con el fin de que el producto cumpla a cabalidad todas sus especificaciones y que redunde en unos resultados conformes luego de ejecutarse las pruebas.

Los beneficiarios de la investigación serán los clientes en primer lugar quienes podrán obtener el producto con las especificaciones que se requieren, al igual que los clientes internos de la organización pues con este aseguramiento se espera que el producto se posicione mejor y así se podrá aumentar la rentabilidad y competitividad del negocio.

De igual forma al tener identificados, definidos y controlados los parámetros críticos que influyen en los resultados, también se enfocan esfuerzos y todo el personal operativo tiene el conocimiento necesario y documentado para ejercer bien sus funciones y ejercer control sobre el comportamiento versus las especificaciones documentadas.

4. Marco Teórico

Las respuestas eléctricas de las baterías de plomo-acido a las pruebas finales de control de calidad, son una medida muy importante, en donde se determinan las capacidades de arranque y reserva bajo condiciones variables de tiempo y temperatura. Cada una de esta respuesta, se comporta de acuerdo a las características de los componentes de la batería y su variabilidad. Una rejilla defectuosa o deficiente esqueleto de la placa, es fuente respuestas anormales en los resultados de las pruebas eléctricas; Una placa con adherencia débil del material activo en la rejilla o un proceso de curado deficiente, también son fuentes potenciales de inconvenientes en las respuestas eléctricas de las baterías; las deficiencias en la soldadura de los puentes conectores donde van sujetas las placas pueden interrumpir el correcto flujo de corriente a través del circuito. Para que las baterías muestren resultados satisfactorios en estas pruebas es muy importante el estricto cumplimiento de los requisitos en los procesos de ensamble, debido a que interactúan muchos componentes que pueden originar el incumplimiento de una variable. En la siguiente fase, que es el proceso de formación de las placas por medio de intercambio de electrones que se da en un medio acido en el proceso de carga, es una de las más críticas dentro de todo el proceso de fabricación, y para la obtención del resultado final esperado, es determinante iniciar el proceso en condiciones previamente estudiadas y analizadas por medio de configuración electroquímica.

4.1. Estado del Arte

Juan Viera (2003) describe los sistemas de carga rápida de baterías de media y gran capacidad. Dentro de esta tesis se desarrolló una metodología de ensayos original para el estudio de los procesos de carga de baterías de Ni-Cd y de Ni-MH. Además, se propuso un nuevo método de finalización de carga rápida. Se estudia el estado del arte relacionado con las distintas

tecnologías de fabricación de baterías utilizadas en sistemas que funcionan bajo regímenes cíclicos de carga-descarga (plomo-ácido, níquel-cadmio, níquel-hidruro metálico y litio-ion). Además, se seleccionan las tecnologías más adecuadas para el funcionamiento en regímenes cíclicos de carga-descarga (Ni-Cd y Ni-MH). Se realiza el estudio de las características de descarga de las tecnologías de baterías seleccionadas (Ni-Cd y Ni-MH). Se presenta una metodología de ensayos desarrollada específicamente para el estudio de los procesos de carga en baterías de Ni-Cd y Ni-MH de media y gran capacidad (carga lenta y carga rápida). Además, se presentan los bancos de ensayos desarrollados para la realización de los ensayos. Se realiza un exhaustivo análisis de los procesos de carga en baterías de Ni-Cd y Ni-MH basándose en diferentes índices de comportamiento como son: evolución de la tensión y de la temperatura, capacidad cargada y descargada, aceptación de carga, eficiencia energética, etc. Este estudio aporta una valiosa información dada la novedad de las baterías en estudio. Se realiza un análisis crítico de los métodos de carga actuales desde el punto de vista de su posible aplicación en carga rápida en baterías de media y gran capacidad. Se propone un método original de finalización de carga que junto a la selección de la razón de carga óptima en cada tecnología dan lugar a un método de carga preciso, fiable, fácil de implementar y económico. Se resumen las principales conclusiones y aportaciones de la tesis y las líneas futuras de trabajo. Asian Electric Vehicle Society et al (2005) han desarrollado un nuevo método para mejorar el rendimiento de la carga y descarga en baterías de plomo-ácido. La propia batería tiene una resistencia interna que hace difícil controlar el proceso de carga y descarga porque la capacidad de la batería se estima por la diferencia de potencial entre los dos electrodos, llamada tensión externa. Cuando aumenta la resistencia interna efectiva de la batería debido al deterioro, la tensión externa es demasiado alta para detener la carga, aunque la batería no haya almacenado una suficiente cantidad de energía.

Este documento introduce un nuevo método de carga y descarga y el resultado mejora la eficacia y contribuye a la prolongación de la vida de las baterías de plomo ácido. Hongyu Chen (1996) Realizaron un análisis de las eficiencias en los cargadores de baterías plomo/ácido y sus ventajas de cargar con varios pasos a corriente constante. Se ha desarrollado un método de formación de varios pasos y equipos de carga relacionados para baterías de plomo / ácido para automóviles. Este proceso ofrece las ventajas de reducir los requerimientos de energía, aumentar la eficiencia de carga y reducir los problemas ambientales. Que la formación de varios pasos mejora el problema de la pérdida prematura de la capacidad y extiende la útil vida útil de las baterías para automóviles. Se cree que esto se debe a la producción de mayores cantidades de PbO_2 en las placas positivas.

Marder, Felipe (2004) El siguiente trabajo consiste en el diseño e implementación de un cargador de baterías de plomo-ácido capaz de regular la intensidad de la corriente efectiva de 1 a 10^{a} . se plantea que la forma de onda de la corriente de salida es de tipo cuasi senoidal y es obtenida por un par de transistores MOSFET trabajando en conmutación. La topología circuital permite trabajar en un régimen de modulación del ciclo de trabajo modificando el nivel de carga. Esto se realiza automáticamente a través de un lazo de realimentación, y de acuerdo al grado de descarga de la batería que se censa permanentemente. Dicho control de estado se realiza tanto por tensión como por corriente, para establecer un nivel máximo y mínimo de carga. Betetta Gomez, Judith Luz et al (1997) Diseñaron un sistema eléctrico para una fábrica de acumuladores plomo-ácido donde se describen las características de las materias primas necesarias para la fabricación de acumuladores plomo-ácido, las partes que lo constituyen, así como las características técnicas de las mismas.

Rodríguez López (2014). Realizaron una comparación de dos tipos de baterías diferentes: AGM y PLOMO-ACIDO. El estudio consistió en comparar los resultados de dos de las pruebas más importantes que se realizan en este tipo de baterías, que son la de ingesta de agua y la descarga. La primera es someter a la batería a un aerosol de agua que simula la condición de esta debajo del cofre del auto para verificar que la batería no absorba el agua. La segunda prueba consiste en tomar el tiempo que tarda en agotarse la energía de la batería, cuando se le conecta carga constante; esto se realizará midiendo los valores de voltaje y corriente en intervalos de tiempo regulares.

Guzmán (2005). Modeló y simuló una batería de plomo-ácido utilizando fuentes dependientes de voltaje y corriente, así como también, bloques aritméticos que forman que forman parte de la biblioteca de las distintas herramientas computacionales orientadas al análisis de circuitos eléctricos y electrónicos. El objetivo de la investigación fue desarrollar un modelo representativo de la operación de las baterías basado en bloques funcionales que permitieran entender el comportamiento del proceso de carga y descarga.

4.2. Referentes teóricos

4.2.1. ¿Qué es una batería?

Una batería es un dispositivo electroquímico que almacena energía en forma química. Cuando se conecta a un circuito eléctrico, la energía química se transforma en energía eléctrica. Todas las baterías son similares en su construcción y están compuestas por un número de celdas electroquímicas. Cada una de estas celdas está compuesta de un electrodo positivo y otro negativo además de un separador.

Cuando la batería se está descargando se produce un cambio electroquímico se está produciendo entre los diferentes materiales en los electrodos.

Los electrones son transportados entre el electrodo positivo y negativo vía un circuito externo (bombillas, motores de arranque etc.).

4.2.2. Batería de plomo ácido para automóviles

Las baterías de plomo ácido se utilizan en vehículos convencionales, no híbridos. Suelen dar 6, 12 u otro múltiplo, pero la tensión que suministra cada celda es de 2 V. Tienen una gran capacidad de corriente que las hacen ideales para los motores de arranque.

Su forma más conocida son las baterías de automóvil. Están formadas por un depósito de una solución de ácido sulfúrico y dentro de él una serie de placas de plomo dispuestas alternadamente. Para evitar la combadura de las placas positivas, se dispone una negativa adicional, de forma que siempre haya una placa negativa exterior.

Generalmente, en su fabricación, las placas positivas están recubiertas o impregnadas de dióxido de plomo (PbO_2), y las negativas están formadas por plomo esponjoso. Este estado inicial corresponde a la batería cargada, así que el electrolito agregado inicialmente debe corresponder a la batería con carga completa (densidad 1.280 g/ml).

Según el número de placas, la corriente (intensidad) suministrada será mayor o menor. Debajo de las placas se deja un espacio para que se depositen eventuales desprendimientos de los materiales que forman las placas. Para que no haya contacto eléctrico directo entre placas positivas y negativas, se disponen separadores aislantes que deben ser resistentes al ácido y permitir la libre circulación del electrolito y de la corriente eléctrica.

4.2.3. Tipos de baterías

Existen muchos tipos de baterías, atendiendo a los elementos empleados en su fabricación, tales como:

- Baterías alcalinas: Comúnmente desechables, emplean hidróxido de potasio como electrolito, junto con zinc y dióxido de magnesio para suscitar la reacción química que produce energía. Son sumamente estables, pero de corta vida.
- Baterías de ácido-plomo: Comunes en vehículos y motocicletas, son pilas recargables que poseen dos electrodos de plomo. Durante la carga, el sulfato de plomo en su interior se reduce y deviene plomo metal en el ánodo, mientras en el cátodo se forma óxido de plomo. El proceso se invierte durante la descarga.
- Baterías de níquel: De muy bajo coste, pero pésimo rendimiento, son algunas de las primeras en manufacturarse en la historia. A su vez, dieron origen a nuevas baterías como:
 - ✓ Níquel-hierro (NI-FE): Fáciles y económicos de fabricar, consistían en tubos finos enrollados por láminas de acero niquelado. En el interior de los tubos se usaba hidróxido de níquel y como electrolito potasa cáustica y agua destilada. Sin embargo, su rendimiento no superaba el 65%.
 - ✓ Níquel-cadmio (NI-CD): Con ánodo de cadmio y cátodo de hidróxido de níquel, e hidróxido de potasio como electrolito, estos acumuladores son perfectamente recargables, pero presentan baja densidad energética (apenas 50Wh/kg).
 - ✓ Níquel-hidruro (Ni-MH): Emplean hidróxido de níquel para el ánodo y una aleación de hidruro metálico como cátodo, fueron las pioneras en usarse para vehículos eléctricos, dado que son perfectamente recargables.
 - ✓ Baterías de iones de litio (Li-ION): Las baterías más empleadas en la electrónica de pequeño tamaño, como celulares y otros artefactos portátiles. Destacan por su enorme densidad energética, sumados a su ligereza, pequeño tamaño y buen

rendimiento y poseen una vida máxima de tres años. Además, al sobrecalentarse pueden explotar, ya que sus elementos son inflamables.

- ✓ Baterías de polímero de litio (LiPo): Variación de las ordinarias baterías de litio, presentan mejor densidad de energía y mejor tasa de descarga, pero presentan el inconveniente de quedar inutilizadas si pierden su carga por debajo de 3 voltios.

4.2.4. Acumulador De Plomo

El Acumulador de plomo está constituido por dos tipos de electrodos de plomo que, cuando el aparato está descargado, se encuentra en forma de sulfato de plomo (PbSO_4 II) incrustado en una matriz de plomo metálico (Pb); el electrolito es una disolución de ácido sulfúrico. Esta dilución en agua es tal que su densidad es de 1.280 ± 0.010 g/ml con carga plena, y bajará a 1.100 g/ml cuando la batería esté descargada. Este tipo de acumulador se usa en muchas aplicaciones, además de los automóviles.

4.2.5. Funcionamiento de un acumulador de plomo

Durante el proceso de carga inicial el sulfato de plomo (II) es reducido a plomo metálico en el polo negativo, mientras que en el ánodo se forma óxido de plomo (IV) (PbO_2). No se libera hidrógeno, ya que la reducción de los protones a hidrógeno elemental está cinéticamente impedida en una superficie de plomo, característica favorable que se refuerza incorporando a los electrodos pequeñas cantidades de plata. El desprendimiento de hidrógeno provocaría la lenta degradación del electrodo, ayudando a que se desmoronasen mecánicamente partes del mismo, alteraciones irreversibles que acortan la duración del acumulador. Sólo si se supera la tensión de carga recomendada se libera hidrógeno, se consume el agua del electrolito y se acorta la vida de las placas, con el consiguiente peligro de explosión por la combustibilidad del hidrógeno.

Durante la descarga se invierten los procesos de la carga.

El óxido de plomo es reducido a sulfato de plomo mientras que el plomo elemental es oxidado para dar igualmente sulfato de plomo. Los electrones intercambiados se aprovechan en forma de corriente eléctrica por un circuito externo. Los procesos elementales que trascurren son los siguientes: en la descarga baja la concentración del ácido sulfúrico porque se crea sulfato de plomo y aumenta la cantidad de agua liberada en la reacción. Como el ácido sulfúrico concentrado tiene una densidad superior al ácido sulfúrico diluido, la densidad del ácido puede servir de indicador para el estado de carga del dispositivo.

No obstante, este proceso no se puede repetir indefinidamente porque, cuando el sulfato de plomo forma cristales muy grandes, ya no responden bien a los procesos indicados, con lo que se pierde la característica esencial de la reversibilidad. Se dice entonces que el acumulador se ha sulfatado y es necesario sustituirlo por otro nuevo. Los cristales grandes también se forman si se deja caer por debajo de 1.8 V la tensión de cada celda.

Muchos acumuladores de este tipo que se venden actualmente utilizan un electrolito en pasta, que no se evapora y hace mucho más segura y cómoda su utilización.

4.2.6. Tipos de baterías de plomo ácido

La tecnología del plomo ácido puede variar según las diferentes necesidades existentes. Las baterías se clasifican en grupos según el uso que estas tengan y por su diseño. Las diferencias principales entre estos grupos se dan por la estructura y diseño de los electrodos (o placas), el material activo y el electrolito.

Los tipos más comunes de baterías de plomo son:

- Baterías de tracción
- Baterías estacionarias
- Baterías de arranque

4.2.7. Diferencias en la fabricación

Las baterías de tracción están sujetas a una constante y relativamente pequeña descarga, durante largos periodos de tiempo, lo que supone un alto grado de descarga. Hay que procurar recargarlas, preferiblemente de 8 a 16 horas cada día antes de que se vuelvan a descargar.

Las baterías de tracción tienen electrodos muy gruesos con rejillas pesadas y un exceso de material activo.

Las baterías estacionarias están constantemente siendo cargadas y se debe tener cuidado de evitar que se sequen. El electrolito y el material de la rejilla del electrodo están diseñados de forma que se minimice la corrosión.

Las Baterías de arranque tienen que ser capaces de descargar el máximo de corriente posible en un corto espacio de tiempo manteniendo un alto voltaje. Tienen que ser capaces de soportar un gran número de descargas incluso con cambios fuertes de temperatura. El peso, el diseño y la forma son también características determinantes.

Para poder cumplir su tarea principal que es arrancar un motor, se necesita mucha energía en un periodo corto de tiempo. Las baterías de arranque tienen generalmente una baja resistencia interna.

Esto puede lograrse con una gran área de superficie de electrodo, un pequeño espacio entre placas y unas conexiones “heavy-duty” (resistentes a duros servicios) entre celdas.

5. Caracterización del Proceso de Producción

Los incumplimientos de los requerimientos en las respuestas eléctricas de las baterías plomo-acido son un gran problema para los fabricantes de acumuladores eléctricos, ya que esto produce sobrecostos y puede afectar la calidad del producto. Es por esto que toma importancia el diseñar estrategias que reduzcan los incumplimientos de las respuestas eléctricas de las baterías plomo-acido, a fin de aumentar su calidad y disminuir los costos de no calidad.

Así mismo el tener incumplimientos en el interior del proceso, genera ineficiencias y falta de efectividad en el aseguramiento de todas las etapas. Objetivamente siempre sale más costoso el rechazo o la determinación de un producto como no conforme o de “dudosa calidad” en etapas más avanzadas del proceso, incurriendo en altos riesgos de despachos a los clientes y por ende se le sumaría una afectación de la imagen del producto redundando en disminución de los niveles de ventas.

El mercado de las baterías es altamente competitivo, pues la calidad y duración del producto es un asunto que ya va intrínseco en todas las negociaciones, es decir, es un tema tácito que no se cuestiona sino por el contrario se sobre entiende que existe, que se tiene y que el producto es de alta duración. Esto cobra aún más importancia para el desarrollo de este trabajo, pues el cliente al final tendrá una idea de la calidad, duración e imagen del producto basado en la experiencia que haya tenido con el mismo durante su vida útil.

5.1. Historia Baterías Willard S.A.

En el año 1927 los hermanos Peláez, Emilio, Jesús, Rubén, y Gabriel Peláez Vallejo, crean la Agencia Willard la cual importa y distribuye la primera batería extranjera en el mercado colombiano. La Agencia Baterías Willard, se convierte más adelante en Almacenes Peláez

Hermanos debido al proceso vertiginoso de crecimiento por el excelente servicio prestado a todos los usuarios de baterías Willard. Este desarrollo permite la entrada a Colombia de la industria Norteamérica ESBIC CORPORATION que opera a través de Esbic Panamá produciendo las famosas marcas Willard, Exide, Sure Star y Royal. Baterías Willard S.A está ubicada en el parque industrial de malambo “PIMSA” manzana 2 lote 9. Se encuentran en el mercado desde 1927 trabajando en el mercado nacional e internacional, mediante la elaboración de baterías automotrices a través de la refinación y aleaciones de diferentes tipos de plomo, los procesos realizados se ejecutan mediante maquinas eficientes, logrando satisfacer las necesidades de los clientes y así brindar baterías garantizadas mediante las respectivas pruebas de resistencia y su correspondiente control de calidad.

Cronológicamente, la historia de la organización está descrita como sigue a continuación:

Año 1947

Don Gabriel Peláez Vallejo asume la presidencia de la compañía.

Año 1957

Se inicia la producción en línea de las primeras baterías en Colombia, con cubiertas múltiples y selladas con brea. Los componentes eran ciento por ciento importados.

Año 1978

Se fabrican las primeras baterías de tapa única selladas con epóxico y conexión intercelda por encima del tabique.

Año 1982

Las baterías Willard son instaladas como equipo original en los vehículos ensamblados por Colmotores.

Año 1985

Se fabrican las primeras baterías con tapa única selladas térmicamente y conexión intercelda a través del tabique.

Año 1988

Inicia operaciones para la fabricación de óxido de plomo para las baterías.

Año 1992

Las baterías Willard selladas reciben el sello de calidad Icontec.

Año 1993

Se producen las primeras baterías con separadores de polietileno en forma de sobre.

Año 1995

Reciben la orden Aníbal Aguirre Arias de Asopartes. Se lanza al mercado la primera batería libre de mantenimiento y la Supertaxi. Willard hace parte de la línea de ensamble de la CCA y se encuentran instaladas como equipo original en GM Colmotores.

Año 1996

Comienza la automatización en la fabricación de las placas, en los equipos para cargar las baterías y el quemado de las celdas.

Año 2000

Baterías Willard empieza su proceso de Exportación. Hoy día se exporta a más de 20 países en Sur, Centro y Norte América.

Año 2015

Baterías Willard inicia su proyecto de expansión con la construcción de la nueva planta de producción.

5.2. La Organización

- Misión

Somos fabricantes de baterías automotrices de alto desempeño que generamos valor para beneficio de nuestros accionistas con ventajas competitivas sostenibles, apoyándonos en tecnología y constante innovación con acciones de servicio superior para la satisfacción de nuestros clientes globales.

Trabajamos permanentemente en el desarrollo integral de nuestro talento humano en un entorno saludable y seguro, garantizando la protección y conservación de nuestro medio ambiente.

- Visión

Baterías Willard S.A. será reconocida globalmente como fabricante líder de acumuladores eléctricos de alto desempeño, aplicando las mejores tecnologías disponibles, apoyados en la excelencia de nuestro talento humano para la plena satisfacción de nuestro planeta, de nuestros consumidores y de nuestros asociados comerciales.

- Política de Calidad

Identificar las expectativas de las partes interesadas y satisfacer las necesidades a través de toda la educación continua de todo el equipo humano, fomentar una cultura de trabajo seguro, basado en comportamientos, prácticas y hábitos que contribuyan al mejoramiento de la calidad de vida, condiciones de trabajo, productividad y desarrollo sostenible.

- ✓ Permanecer en todo momento cerca de nuestros clientes para darles el mejor producto y servicio.

- ✓ Estar unidos a nuestros proveedores y subcontratistas para desarrollar juntos con ellos mejores materias primas, mejores procesos y actividades que prevengan la contaminación del medio ambiente.
- ✓ Elevar día a día nuestro nivel tecnológico medido en la calidad del conocimiento adquirido a través de la experiencia.
- ✓ Soportamos permanentemente en asistencia técnica especializada.
- ✓ Garantizar un ambiente de trabajo seguro, saludable, de bienestar y de seguridad física y emocional en todos sus trabajadores.
- ✓ Prevenir la contaminación del medio ambiente para beneficio de todos.
- ✓ Garantizar la confiabilidad del personal que labora en nuestra empresa.
- Valores Corporativos
 - ✓ Innovación
 - ✓ Responsabilidad Social
 - ✓ Integridad
 - ✓ Desarrollo humano
 - ✓ Compromiso
 - ✓ Competitividad
 - ✓ Liderazgo

5.3. Certificaciones de la Empresa

La organización cuenta con un Sistema de Gestión Integrado, certificado bajo las Normas IATF 16949, ISO 9001, ISO 14001 y BASC. Los certificados para cada caso, se muestran en las siguientes imágenes:



Figura 1. Certificación IATF 16949



Figura 2. Certificado ISO 9001.



Figura 3. Certificación ISO 14001.

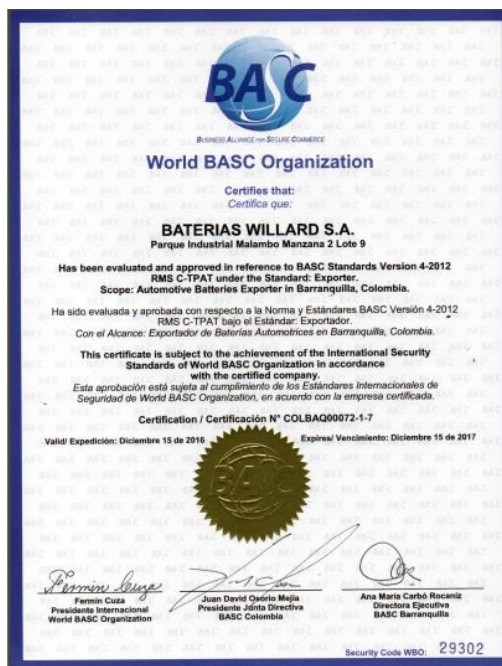


Figura 4. Certificación BASC

La empresa cuenta con una estructura organizacional claramente definida y compuesta por 2 Gerencias, Direcciones y Jefaturas para cada Area.

Debido a las certificaciones de la organización, se hace necesario contar con organigramas claramente definidos para los diferentes Sistemas de Gestión en donde se identifiquen los cargos críticos que intervienen en los diferentes procesos y actividades relacionadas. Las siguiente figuras definen los Organigramas para el Sistema de Gestión de Calidad, el Sistema de Gestión Ambiental, y el de control y seguridad que aplica para BASC:

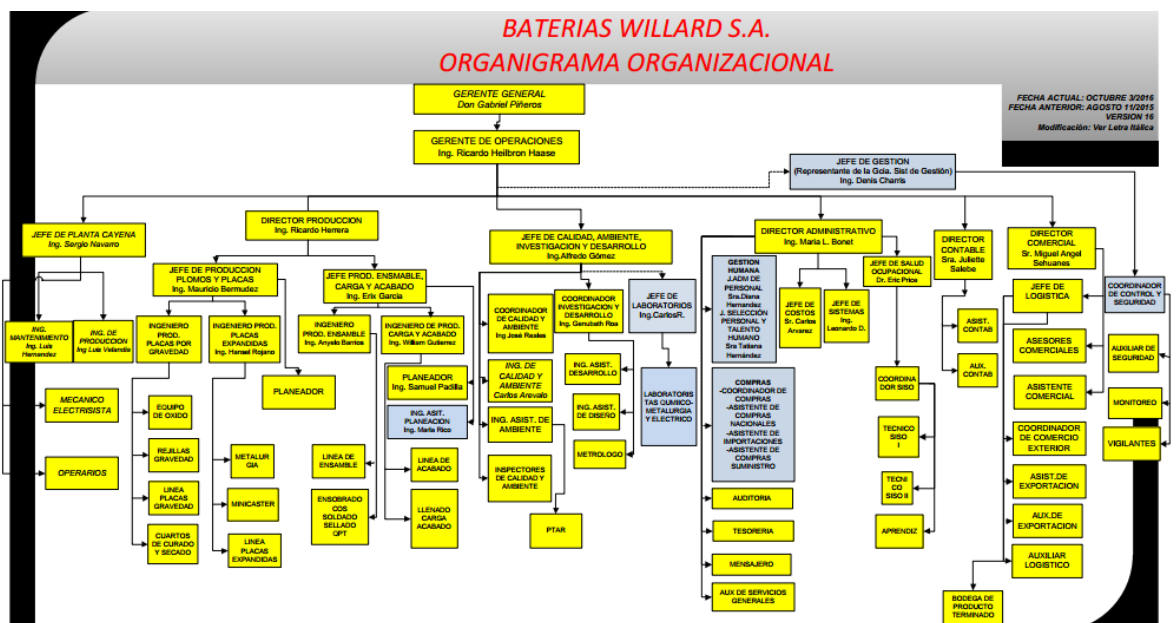


Figura 5. Organigrama organizacional Baterias Willard S.A.



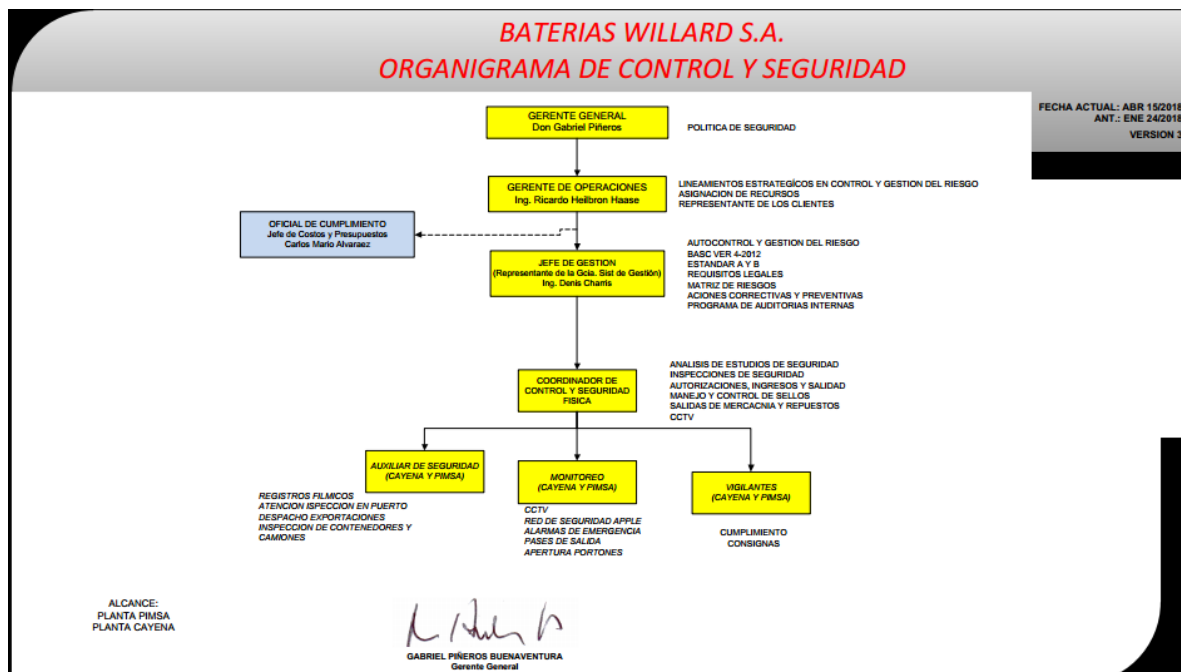


Figura 8. Organigrama de Control y Seguridad Baterías Willard S.A.

5.5. Talento Humano

La organización cuenta con un personal altamente calificado y entrenado para todas las actividades que se ejecutan. El proceso de fabricación de baterías es especializado debido a que no es común encontrar muchas fábricas de baterías cercanas; de hecho, en Sur América no todos los países cuentan con fábricas de baterías como es el caso de Chile, por ejemplo, en donde todas las baterías del mercado son importadas. Esto hace que la organización mantenga constantemente al personal actualizado en el proceso productivo, y a su vez garantice que el conocimiento sea transferido en beneficio del producto y de nuestros clientes.

La planta actualmente cuenta con 430 empleados, de los cuales el 80% corresponde a empleados de planta asignados a los diferentes procesos productivos. El nivel académico exigido para los operadores titulares en las diferentes máquinas es técnico o tecnólogo y el nivel mínimo del personal que ocupa otros cargos auxiliares o asistentes dentro de la planta debe ser bachiller.

Como se explica en el numeral anterior, y profundizando en el tema objeto de estudio de este proyecto, la organización cuenta con una estructura claramente definida para el Sistema de Gestión de la Calidad. En ella pueden notarse los siguientes cargos principales:

- Jefe de Calidad, Ambiente e Investigación y Desarrollo
- Coordinador de Calidad y Ambiente
- Ingenieros de Calidad y Ambiente
- Inspectores de Calidad

Con respecto a los Inspectores de Calidad, estos son los encargados de velar por el seguimiento al desempeño del producto en proceso y hacer que se cumplan las especificaciones definidas por los clientes y para las diferentes etapas del proceso. Actualmente la organización cuenta con 14 Inspectores de Calidad que dan cubrimiento las 24 horas del día a todo el proceso, y ante cualquier anomalía o irregularidad deben reportarla a su superior para la toma de acciones.

Adyacente al Área de Calidad, Ambiente e Investigación y Desarrollo se encuentra la Jefatura de Laboratorios que integra los laboratorios de Metalurgia, Eléctrico y Físico Químico. Cabe anotar que en el Laboratorio Eléctrico es en donde se ejecutan las pruebas eléctricas a las cuales hacemos referencia en este proyecto. Para tal fin se cuentan con 2 laboratoristas eléctricos debidamente entrenados para la realización de las pruebas y los cuales se mantienen en constante actualización con respecto a la operación de los equipos, dispositivos y sistemas de registro de los resultados.

5.6. Recursos Productivos

Los recursos productivos son aquellos que se utilizan para el procesamiento de los materiales y su transformación en productos terminados, sin los cuales no se podría realizar ninguna actividad en la planta.

La empresa BATERIAS WILLARD S.A. para realizar las actividades de fabricación y comercialización de baterías de plomo – ácido de arranque para automóviles y camiones, utiliza recursos entre los que se menciona la infraestructura de la empresa, materia prima, recursos humanos, además de las maquinarias y equipos, como se detalla en los siguientes numerales.

Para el efecto, se ha clasificado este ítem en cuatro aspectos donde se hace referencia a cada uno de los factores del sistema productivo de BATERIAS WILLARD S.A. con el propósito de profundizar en los mismos.

5.6.1. Materias Primas

La calidad de los materiales utilizados para la producción de baterías, tiene un impacto directo en la calidad del producto y en el nivel de satisfacción de los clientes.

5.6.2. Plomo

La materia prima principal para la producción de baterías es el plomo y este varía principalmente en 3 tipos:

- ✓ Plomo Calcio – Estaño

Se utiliza para la elaboración de las rejillas positivas por gravedad y expandidas y para las placas negativas expandidas.

- ✓ Plomo antimonio

Se utiliza una aleación antimonial Sb del orden de 3,5% para la elaboración de los puentes de plomo que sirven como conexión entre las celdas de las baterías.

- ✓ Plomo Puro

El plomo puro es importante para la fabricación del Oxido con el cual será producida la mezcla y posteriormente se empastarán las placas. La pureza del Oxido debe estar por encima del

99% para garantizar una correcta absorción de ácido y una consistencia suficientemente buena requerida para la producción de las mezclas.

5.6.3. Ácido sulfúrico

El ácido sulfúrico es un líquido transparente, incoloro e inodoro que es altamente corrosivo al contacto con la piel. El ácido sulfúrico es el componente químico más grande producido en todo el mundo, es el producto de la reacción entre el agua y trióxido de azufre. Es un compuesto químico fabricado para uso industrial.

5.6.4. Separadores

Sobres de polietileno resistente al oxido y al acido, su función permite que no se desprenda las placas positivas y negativas y además evitan que se generen cortos circuitos en la batería.

5.6.5. Cajas y Cubiertas Plásticas

Estos materiales son fabricados el polipropileno de alto impacto para garantizar la resistencia del producto con todos los materiales que internamente debe contener. Las cajas están compuestas por 6 celdas y en cada tabique de cada celda tienen un troquel que sirve para la interconexión de los polos positivos y negativos. Las cubiertas se reciben con 2 bornes de plomo los cuales sirven para soldar los postes de las baterías a la cubierta y posteriormente cerrar el circuito eléctrico.

5.7. Maquinarias y equipos

Las maquinarias y equipos que son necesarias para realizar la fabricación de las baterías de plomo – ácido, se relacionan en la siguiente tabla:

Tabla 1.
Listado de Maquinas.

Maquinaria	Uso
Rejilladoras	Producción de Rejillas por Gravedad
Equipo de Oxido	Producción de Oxido de Plomo
Laminadora	Producción de Cinta Laminada
Expander	Expansión de la cinta laminada
Empastadora	Empastado de las rejillas y/o cintas
Cuartos de Curado	Curado de las Placas
Cuartos de Secado	Secado de las Placas
Ensobradora	Producción de Grupos con Separadores
COS	Quemado de los puentes de las baterías
Soldadora	Soldado de los elementos entre celdas
Probador de Corto	Comprobar cortos circuitos entre celdas
Selladora	Termosellado de Caja y Tapa de la batería
Máquina de QPT	Quemado de los postes terminales
Llenadora	Llenado de las baterías con electrolito
Cargadores	Suministra corriente a las baterías
Mesas de Carga	Cubas donde se cargan las baterías
Nivelado	Nivelación Final de Baterías con electrolito
Lavadora	Lavar las baterías
Máquina de Altarrata	Realización Prueba Final de Baterías
Video Jet	Codificar las baterías con código de garantía
Máquina de Termoencogido	Colocar empaque final a la batería
Zona de Acido	Preparación y almacenamiento de acido

Fuente: Elaboración propia

5.8. Proceso de producción

El proceso de producción para la fabricación de baterías se detalla en el siguiente

Diagrama de Flujo:

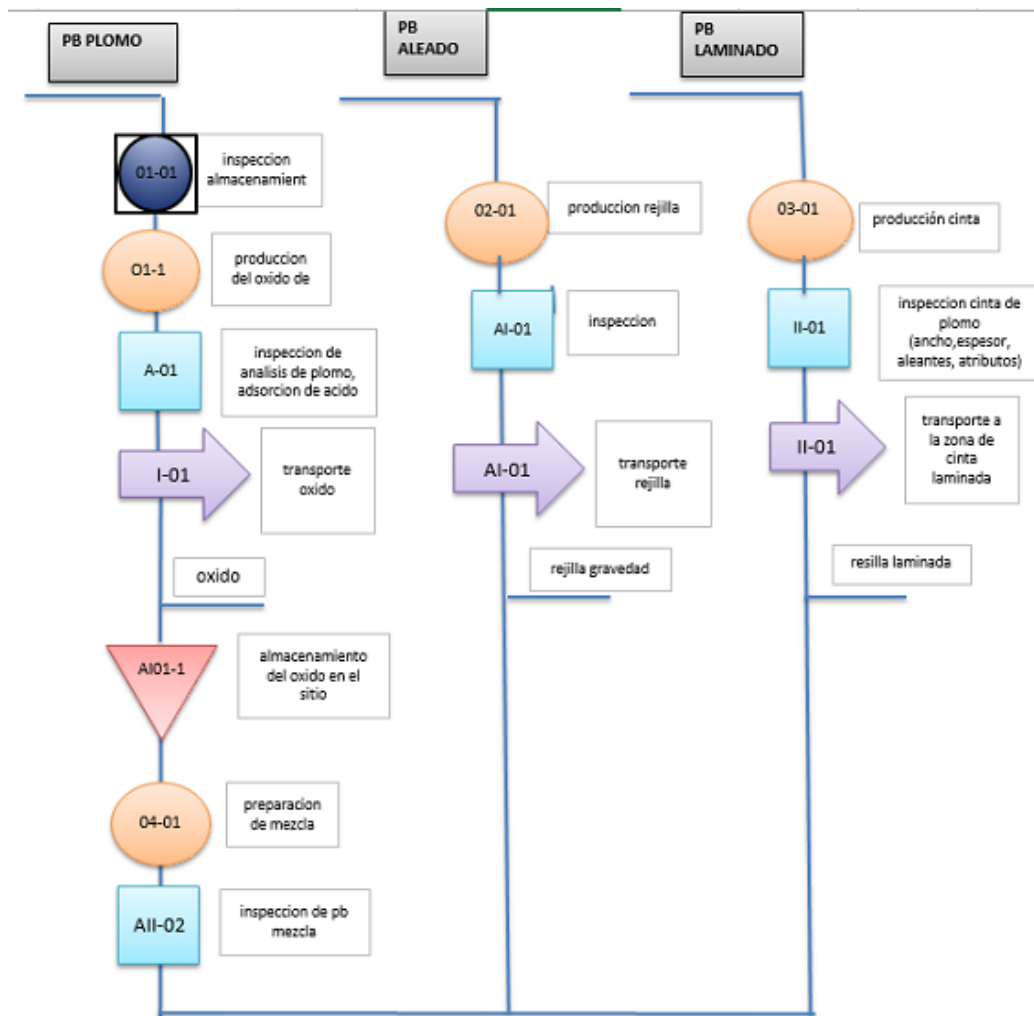


Figura 9. Diagrama de Flujo del Proceso de Producción. Parte 1.

Fuente: Baterías Willard S.A

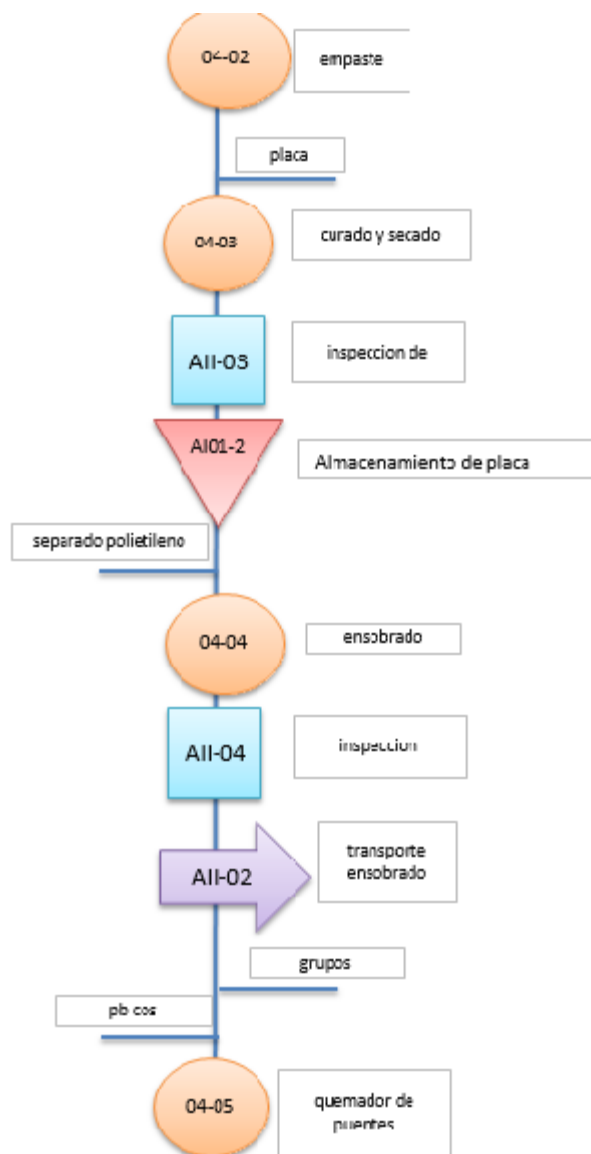


Figura 10. Diagrama de Flujo del Proceso de Producción. Parte 2.
Fuente: Baterías Willard S.A

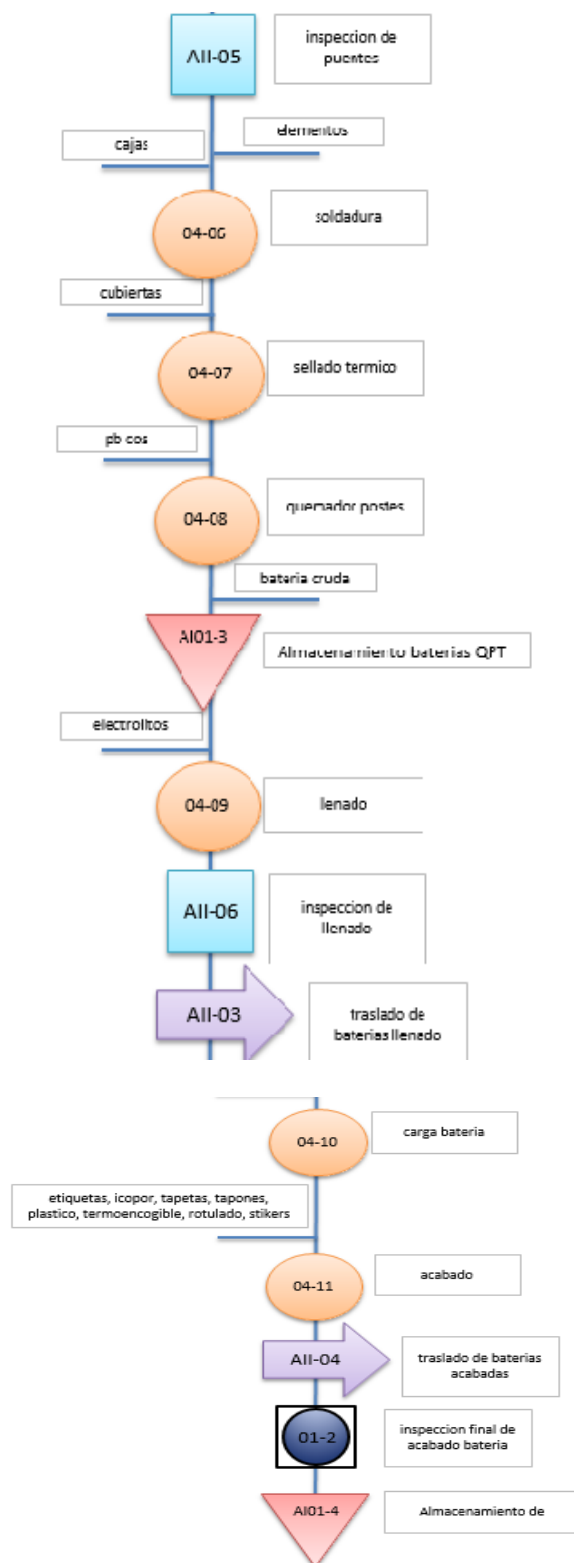


Figura 11. Diagrama de Flujo del Proceso de Producción. Parte 3.
Fuente: Baterías Willard S.A

El proceso principal para la elaboración de las baterías es la fundición de plomo y fabricación de rejillas y placas ya que de estos depende el proceso de producción que requiere los diferentes tipos de plomo.

5.8.1. Etapas del Proceso Productivo

Etapas del proceso productivo

La fabricación de baterías está formada en 9 etapas principales que son:

- ✓ Producción de Oxido de Plomo
- ✓ Producción de Rejillas
- ✓ Producción de Cintas de Plomo
- ✓ Mezclado
- ✓ Empaste
- ✓ Elaboración de grupos
- ✓ Quemado COS
- ✓ Ensamble de la Batería
- ✓ Carga
- ✓ Despacho

5.8.1.1. Producción de Oxido de Plomo

La fábrica consta con un molino de óxido en el cual se produce el óxido de plomo que es la materia prima para la fabricación de placas. El plomo se funde en el crisol a una temperatura aproximada de 480°C, una vez fundido se verta en un reactor en donde con alimentación de aire es transformado en Oxido de Plomo.

Seguidamente el óxido de plomo es transportado a través de un sistema de filtros para posteriormente ser almacenados en unos Silos en donde debe permanecer un tiempo mínimo de

24 horas para poder ser utilizado en el siguiente proceso de mezclado. Este proceso es totalmente automatizado y así se garantiza un producto de alta calidad y que mejora considerablemente el rendimiento de las baterías.

5.8.1.2. Producción de rejillas por gravedad

Este es un proceso primordial para elaboración de baterías ya que de la fabricación de rejillas dependen los otros procesos de producción. La materia prima (el pb) es ingresado al crisol para fundirse a una temperatura aproximada de 480°C y luego las rejillas se fabrican por medio de una maquina llamada rejilladora en la que por medio de una bomba llena el molde. Se fabrican 16 rejillas por minuto y se le controla tanto la calidad como el peso de la misma por los diferentes tipos que se fabrican. Baterías Willard en la actualidad cuenta con 7 máquinas rejilladoras.

5.8.1.3. Producción de Cinta Laminada

Paralelo a la producción de plomos y rejillas, este proceso se encarga a partir de plomo calcio aleado de producir cintas laminadas de espesores bajos para posteriormente ser expandidas y empastadas y así obtener placas laminadas expandidas.

La cinta se obtiene a través de un proceso mecánico de laminación en el cual se ajusta cada torre laminante al espesor deseado y requerido por el proceso de empaste, y al final es embobinada en un rollo cuya presentación es necesaria para poder ser utilizada en el expandir.

5.8.1.4. Mezclado de pasta

Simultáneamente a la instalación del molino, se puso en marcha la nueva mezcladora, en la cual se fabrican los lotes de pasta para el proceso de empastado de placas.

Este proceso comienza en la mezclada de 1 tonelada en la que ingresa el óxido de pb, ácido sulfúrico, agua desmineralizada, expansores y se mezcla durante de una hora dando como resultado el material activo de la batería.

5.8.1.5. Proceso de Empaste

En este proceso se fabrican las placas de las baterías y se tiene un especial cuidado en el control del peso de las mismas ya que de estos dependen las características finales de las baterías, principalmente las respuestas eléctricas.

La placa está formada de una rejilla de una aleación de plomo antimonial o de calcio y de material activo de óxido de plomo. El proceso consiste en añadir la mezcla producida (material activo) en una cantidad especificada para cada referencia positiva o negativa, cuidando que todo el cuerpo de la rejilla quede cubierto de pasta y garantizando el cumplimiento de las características atributivas. Se puede señalar entre las principales características atributivas de las placas las siguientes:

- No debe haber alveolos faltantes.
- Las orejas de las placas no deben estar sucias.
- El peso de material activo debe ser el especificado para cada referencia.
- La trama de la rejilla debe estar totalmente cubierta.

Las placas positivas son las que forman el electrodo positivo y su material activo básicamente es el dióxido de plomo. Las placas negativas son las que forman el electrodo negativo, cuyo material activo es básicamente el plomo esponjoso.

Luego de empastadas, las placas se transportan a los cuartos de curado y secado. Estos son unos hornos donde se secan las placas recién salidas de la empastadora donde este proceso tiene varias etapas.

- ✓ Secado a una temperatura aproximada de 60°C durante un lapso de 12 horas.
- ✓ El proceso de rociado de las placas es a base de unas boquillas donde salen pequeños chorros de agua que mojan los estantes donde están almacenadas las placas para que se compacten durante un lapso de 6 horas.
- ✓ El secado final donde la temperatura baja a aproximadamente 45°C durante el transcurso de 6 horas.
- ✓ Una vez terminados estos procesos del curado y secado de las placas se almacenan los estantes en la zona de almacenamiento por un lapso de 24 horas donde se mide la humedad y el plomo libre de dichas placas para ir al siguiente proceso.

5.9. Elaboración de Grupos (Ensobrado)

Este procedimiento se lleva a cabo en las máquinas ensobradoras en donde se agrupan las placas positivas y negativas y son introducidas automáticamente al sobre separador de polietileno aislante; en el caso del proceso en estudio las placas que siempre se ensobran son las negativas. La cantidad de placas por grupo determina la capacidad eléctrica, por lo cual se producen baterías de diferentes tamaños dependiendo de la aplicación a la que vaya dirigida.

Instrucciones de trabajo en el proceso de armado de grupo

5.10. Quemado de Puentes

Es el proceso en el cual se sueldan las placas positivas y negativas entre sí y se realiza de manera automática y de manera manual. De la primera forma se pueden producir 4 baterías por minuto y en la segunda forma 2 baterías por minuto; dependiendo del tamaño de cada batería y su composición interna, puede variar el ritmo de producción y por ende la cantidad de baterías a producir por minuto.

5.11. Ensamble de la Batería

5.11.1. Soldadura Intercelda, Sellado Térmico, Quemado de Postes Terminales

El ensamble de las baterías está comprendido desde el momento en donde se encajan primero introduciendo los grupos ya soldados en las celdas de las cajas y luego se interconectan. Los grupos son soldados eléctricamente mediante electrodo de presión y corriente a través de las perforaciones existentes en cada tabique de las cajas. Luego viene el proceso de sellado térmico en la cual se queman los bordes de cajas y tapas y después de un enfriamiento son termo selladas.

5.12. Proceso de Carga y Acabado

5.12.1. Llenado, Carga o Formación y Acabado

Es uno de los procesos más importantes de la fabricación de baterías. En este se transforma la energía eléctrica en energía química, la cual es almacenada para luego transformarse nuevamente en energía eléctrica cuando la batería entra en uso. La planta cuenta aproximadamente con 24 mesas doble de carga que le da la suficiente capacidad para atender los requerimientos de la demanda.

Las mesas cuentan con un sistema automático de enfriamiento el cual permite cargar las baterías más rápidamente debido a que estas son refrigeradas mediante recirculación de agua. El tiempo de carga depende de la capacidad de la batería y oscila entre 10 y 24 horas. Con el sistema de enfriamiento y las mejoras de los programas de carga este tiempo se puede reducirse aún más.

En el acabado de las baterías, se procede con la nivelación del Ácido consumido durante la formación y posteriormente al etiquetado y embalaje final.

El acabado de las baterías es la parte final del proceso y en donde se agregan las características finales del producto. Las baterías son niveladas con electrolito para reponer el consumido durante la formación y posteriormente pasa al lavado, secado, se les coloca las diferentes etiquetas, se pulen los bornes y se hace la comprobación final de alto amperaje.

5.13. Capacidad de Producción de la Empresa

El nivel de producción ha venido en un crecimiento importante durante la última década, lo que ha significado pasar de 50.000 baterías/mes a 120.000 baterías/mes. Esto ha sido posible al gran esfuerzo por mejorar los recursos productivos y la infraestructura de la compañía, así como también al reconocimiento por parte de los clientes por ofrecer un producto de alta tecnología, calidad y duración.

Hacia el año 2007, la organización decide hacer su primera gran inversión adquiriendo una línea de última tecnología para la fabricación de placas negativas expandidas. Esto permitió mejorar eficiencias e implementar una producción más limpia logrando cumplir metas y records en los niveles de producción que en este punto ya se ubicaban cercanos a las 70.000 baterías/mes.

A partir del montaje de esta línea, permanentemente se ha pensado en mejorar la capacidad instalada adquiriendo nuevas maquinarias más automatizadas y gestionando de mejor manera el Talento Humano con el fin de hacerlo más productivo.

Durante los siguientes años a partir del 2010, la adquisición de nuevas líneas de ensamble, mesas de carga y aumento de la infraestructura de almacenamiento ha permitido consolidar la calidad y el tiempo de entrega como ventajas competitivas diferenciadoras en el mercado.

En el año 2017 la organización decide hacer una segunda gran inversión al adquirir una línea nueva de laminación de cinta, con una capacidad de producción proyectada a 250.000 baterías/mes, con el fin de migrar la tecnología de las placas tanto positivas como negativas al sistema de metal expandido, el cual mejora tiempos de respuesta y produce las placas con mejor calidad.

En la actualidad la organización cuenta con toda esta capacidad instalada, y con una estructura sólida de procesos que le permite atender los requerimientos de los clientes nacionales, y poder aspirar a expandir su participación en el mercado que hoy día se encuentra distribuida en 22 países de Norte, Centro y Suramérica. Este es un proceso de mejora continua, que la organización ha definido como estratégico y en el cual día a día se trabaja para seguir gestionándolo. Adicionalmente cada cierto período, se monitorea la evolución de la capacidad instalada con el fin de evaluar los cuellos de botella y establecer planes a corto, mediano y largo plazo que permitan continuar con el crecimiento y con la atención y el servicio que los clientes esperan de la compañía.

5.14. Sistema de Gestión y Control de la Calidad de la Organización

Dentro de los procesos del Sistema de Gestión de Calidad de la Empresa, se encuentra el proceso definido como “Control de Calidad”. Este proceso es el encargado de definir y administrar los documentos, métodos y además de controlar todas las materias primas, el producto en proceso y el producto terminado. Con el fin de realizar esta labor de manera sistémica y más organizada, se manejan 2 tipos de documentos fundamentales: los Planes de Control y el AMEF.

El AMEF es la base que utiliza el Equipo Técnico Multidisciplinario de la empresa para identificar posibles fallos en el producto que parten del proceso productivo y sobre los cuales

deben definirse medidas preventivas y correctivas que estén enfocadas a disminuir la ocurrencia y la severidad de no conformidades que pueda percibir el cliente por muy mínimas que sean.

Luego de definidos los AMEF, el documento soporte para garantizar la correcta implementación de las medidas definidas son los Planes de Control. En estos reposan todos los controles definidos a lo largo del proceso de producción, así como también las responsabilidades, los documentos y los registros asociados al cumplimiento de las especificaciones tanto del producto como del proceso. A continuación, se describe con claridad y detalle la composición de estos dos documentos.

5.15. Análisis del Modo y Efecto de la Falla Potencial (AMEF)

La metodología AMEF utilizada por la organización se encuentra basada en el Manual “Potential Failure Mode and Effects Analysis FMEA Fourth Edition, 2008”.

De acuerdo al manual, el AMEF es una metodología analítica usada para asegurar que problemas potenciales hayan sido considerados y direccionados a lo largo del proceso productivo. El resultado más visible es la documentación del conocimiento de potenciales fallas entre todo el personal de la organización. Uno de los factores más importantes para la implementación exitosa del programa AMEF es la oportunidad. Esto quiere decir que el ejercicio debe hacerse “antes del evento” como acción preventiva y no después de que haya sucedido. Lo ideal es que el diseño AMEF sea iniciado en las etapas temprana del diseño y desarrollo de un producto y/o proceso, o antes que sea comprado un nuevo equipo o herramental.

En términos generales, hay 3 casos básicos para aplicar el AMEF dependiendo de la orientación en la que se quiera trabajar:

Caso 1: Diseños nuevos, nueva tecnología o procesos nuevos. El alcance del AMEF es el diseño completo, la tecnología o el proceso.

Caso 3: Uso de un proceso o diseño existente con algún cambio en el ambiente, ubicación, aplicación o perfil de uso. El alcance del AMEF debe enfocarse en el impacto de nuevos ambientes y ubicaciones.

En este sentido la organización tiene definidos 20 AMEF los cuales corresponden a los análisis efectuados por un equipo multidisciplinario y se documentan de la siguiente manera:

[illegible]

Se describe a continuación lo que significa cada uno de los campos a diligenciar:

- Proceso / Función: Determina el proceso objeto del análisis y/o la función del proceso que será analizada y valorada.
- Requerimiento: Define cual es la necesidad a satisfacer por el proceso o la función objeto de estudio.

- **Modo de la Falla Potencial:** Es definido como la manera en la cual un componente, subsistema, o sistema podría potencialmente fallar para cumplir o entregar la función pretendida descrita en la columna de Proceso/Función.
- **Efecto Potencial de la Falla:** Es definido como los efectos del modo de falla sobre la función, como lo percibe el cliente. Además, describe los efectos de la falla en términos de lo que el cliente puede percibir o experimentar, teniendo en cuenta que el cliente puede ser interno o externo inclusive el usuario final.
- **Severidad:** Es el valor asociado con el efecto más serio para un modo de falla dado. Para la calificación de la severidad se tienen en cuenta la siguiente tabla:

Tabla 2.

Criterio de Evaluación Sugerido para Severidad de AMEF.

Efecto	Criterio: Efecto de severidad sobre el producto (efecto cliente)	Clasif.
Falla para cumplir seguridad y/o Requerimientos Regulatorios	El modo potencial de falla afecta la operación segura del vehículo y/o involucra no cumplimiento con la seguridad sin alerta.	10
	El modo potencial de falla afecta la operación segura del vehículo y/o involucra no cumplimiento con la regulación gubernamental sin alerta.	9
Pérdida o Degradación de la Función Primaria	Pérdida de la función primaria (vehículo inoperable, no afecta la operación del vehículo)	8
	Degradación de la función primaria (vehículo operable, pero con un reducido nivel de desempeño).	7
Pérdida o Degradación de la Función Secundaria	Pérdida de la función secundaria (vehículo operable, pero las funciones confort/conveniencia inoperables).	6
	Degradación de la función secundaria (vehículo operable, pero las funciones confort/conveniencia ha reducido su nivel de desempeño).	5
Incomodidad	Ruido audible o aparente, vehículo operable, el ítem no es conforme y es notado por la mayoría de los clientes (> 75%)	4
	Ruido audible o aparente, vehículo operable, el ítem no es conforme y es notado por muchos clientes (50%)	3
	Ruido audible o aparente, vehículo operable, el ítem no es conforme y es notado por pocos clientes (< 25%)	2
Sin Efecto	No hay efecto discernible	1

Fuente: Elaboración propia

- **Clasificación:**

Se usa para resaltar los modos de falla de alta prioridad y sus causas asociadas. Como resultado de este análisis, el equipo multidisciplinario puede usar esta información para identificar características especiales en el proceso productivo.

- Causas/Mecanismos: En el desarrollo del AMEF la identificación de todas las causas potenciales del modo de falla es clave para el análisis siguiente. También pueden ser utilizadas técnicas variadas (tales como tormenta ideas) para determinar las causas potenciales del modo de falla y es recomendable que el equipo multidisciplinario se enfoque sobre un entendimiento del mecanismo de falla por cada modo de falla.
- Causa Potencial del Modo de Falla: La causa potencial de falla es definida como un indicador de cómo el proceso de diseño puede permitir que la falla ocurra, descrito en términos de algo que puede ser corregido o puede ser controlado.
- Ocurrencia: La ocurrencia es la probabilidad de que una causa/mecanismo específico ocurra y resulte en el modo de falla dentro de la vida del producto. Para la calificación de la ocurrencia, se tiene en cuenta la siguiente tabla

Tabla 3.
Criterio de Evaluación de Ocurrencia.

Probabilidad de Falla	Criterio: Ocurrencia de la Causa (Diseño/vida/confiabilidad del ítem/vehículo)	Criterio: Ocurrencia de la causa (Incidentes por ítems/Vehículos)	Clasif.
Muy Alta	Nueva Tecnología/Nuevo diseño sin historial	≥ 100 por mil ≥ 1 en 10	10
Alta	La falla es inevitable con el nuevo diseño, nueva aplicación, en condiciones de Ciclo/operación de trabajo.	50 por mil 1 en 20	9
	La falla es probable con el nuevo diseño, nueva aplicación, en condiciones de ciclo/operación de trabajo.	20 por mil 1 en 50	8
	La falla es incierta con el nuevo diseño, nueva aplicación, en condiciones de ciclo/operación de trabajo.	10 por mil 1 en 100	7
Moderado	Fallas frecuentes asociadas con diseños similares o en simulación y ensayo de diseño	2 por mil 1 en 500	6
	Fallas ocasionales asociadas con diseños similares o en simulación y ensayo de diseño.	5 por mil 1 en 2000	5
	Fallas aisladas asociadas con diseños similares o en simulación y ensayo de diseño.	1 por mil 1 en 10000	4
Baja	Solamente fallas aisladas asociadas con diseños casi idénticos o en simulación y ensayo de diseño.	0.01 por mil 1 en 100000	3
	No se observan fallas asociadas con diseños casi idénticos o en simulación y ensayo de diseño.	≤ 0.001 por mil 1 en 1000000	2
Muy Baja	La falla es eliminada a través del control preventivo.	La falla es eliminada a través del control preventivo.	1

Fuente: Elaboración propia

- Controles Actuales del Diseño:

Son aquellas actividades realizadas como parte del proceso de diseño que han sido terminadas y que asegurarán la adecuación del diseño a los requerimientos de confiabilidad y funcionalidad bajo consideración.

Hay dos tipos de controles de diseño a tener en cuenta:

Prevención: Elimina (previene) la causa del mecanismo de falla o del modo de falla que ocurra, o reduce su rata de ocurrencia.

Detección: Identifica (detecta) la existencia de una causa, el mecanismo de falla resultante o el modo de falla, ya sea por métodos analíticos o físicos antes de que el producto sea liberado para producción.

- Detección: Es el rango asociado con el mejor control de detección identificado. Cuando se ha identificado más de un control, se recomienda que la clasificación de detección de cada control sea incluida como parte de la descripción del control. Para la calificación de la Detección, se tiene en cuenta la siguiente tabla:

Tabla 4.

Criterios de Evaluación Sugeridos para Detección.

Oportunidad para detección	Criterio: Probabilidad de Detección por Control del Diseño	Clasif.	Probabilidad de detección
Sin Oportunidad de Detección	Sin control actual del diseño; no lo puede detectar o no es analizado	10	Casi Imposible
Probablemente no detectado en ninguna etapa	Los controles análisis/detección del diseño tienen una débil capacidad de detección; El análisis virtual (Ej., CAE, FEA, etc.) no son correlativos con las condiciones de operación actuales.	9	Muy Remoto
Post-Diseño y anterior al lanzamiento	La verificación/validación del producto luego de definir el diseño y antes del lanzamiento con ensayos de pasa/nopasa (ensayos al subsistema, o sistemas con criterios de aceptación como montaje y manejo, evaluación del despacho, etc).	8	Remoto
	La verificación/validación del producto luego de definir el diseño y antes del lanzamiento con ensayos de falla (ensayos subsistema, o hasta que ocurra la falla en el sistema, o ensayo de interacciones en el sistema, etc.)	7	Muy bajo
	Validación del producto (ensayos de confiabilidad, desarrollo de ensayos de validación) antes de la definición del diseño usando ensayos de degradación (Ej. Tendencias de datos, valores antes/después, etc.)	6	Bajo
Antes de la definición del Diseño	Validación del producto (ensayos de confiabilidad, desarrollo de ensayos de validación) antes de la congelación del diseño usando ensayos pasa/no pasa. (ej. Criterio de aceptación para desempeño, chequeos de funcionalidad, etc.)	5	Moderado
	Validación del producto (ensayos de confiabilidad, desarrollo de ensayos de validación) antes de la definición del diseño usando ensayos para falla (Ej., hasta avería, falla, rotura, etc.)	4	Moderadamente Alto
	Validación del producto (ensayos de confiabilidad, desarrollo de ensayos de validación) antes de la definición del diseño usando ensayos de degradación (Ej. Tendencias de datos, valores antes/después, etc.)	3	Alto
Análisis Cirtual Correlativo	Los Controles de diseño Análisis/detección tienen una fuerte capacidad de detección. El análisis virtual (Ej. CAE, FEA, etc.) se encuentra altamente relacionada con las condiciones reales o esperadas de operación antes de la definición del diseño.	2	Muy alto
Detección no aplicable; Prevención de falla	La causa de falla o el modo de falla no puede ocurrir porque esta totalmente controlada a través de las soluciones de diseño (Ej. Estándar probado del diseño, mejores prácticas o material común, etc.)	1	Casi cierto

Fuente: Elaboración propia.

- Evaluación de Riesgos; Número de Prioridad de Riesgo (NPR)

Este número es utilizado para definir la priorización y se calcula de la siguiente

manera:

$NPR = \text{Severidad} \times \text{Ocurrencia} \times \text{Detección}.$

Dentro del análisis AMEF este valor puede tener un rango entre 1 y 1000.

Utilizar el NPR dentro del análisis del equipo multidisciplinario es de mucha utilizada.

- Acciones Recomendadas:

La intención de las acciones recomendadas es mejorar el diseño. Identificando estas acciones se debe considerar reducir las clasificaciones en el siguiente orden: severidad, ocurrencia y detección.

5.16. Planes de Control

La organización tiene actualmente definidos 24 Planes de Control para el Proceso de Producción. Estos documentos han sido definidos con base en el Manual “Advanced Product Quality Planning and Control Plan APQP Fourth Edition, 2008”.

Para un mejor desempeño y control del proceso efectivo, se debe tener un entendimiento básico del proceso. Para esto se establece un equipo Multidisciplinario que ayude a desarrollar los Planes de Control utilizando toda la información disponible para así de esta manera comprender de mejor forma todo el proceso productivo. Entre esa información esta:

- Diagramas de Flujo del Proceso
- Los AMEF diseñados por la organización
- Características Especiales si aplican.
- Lecciones aprendidas de procesos o partes similares a la de estudio
- Un Equipo con alto conocimiento del Proceso
- Revisión de los Diseños
- Métodos de Optimización como el DOE, o QFD, entre otros.

Dentro de los beneficios de desarrollar e implementar Planes de Control se tienen:

- Calidad:

La metodología de Plan de Control reduce los desperdicios e incrementa la calidad de los productos durante el diseño, manufactura y ensamble. Esta disciplina está estructurada para brindar una evaluación tanto del producto como del proceso. Los Planes de Control identifican características del proceso y ayudan además a identificar como ellas varían (variables de entrada), y que es lo que causa esa variación en las características del producto (variables de salida).

- Satisfacción del Cliente:

Los planes de control permiten concentrar los recursos en aquellos procesos y productos relacionados con las características que son importantes para los clientes. La correcta asignación de recursos en estos elementos principales, ayuda a reducir los costos sin sacrificar la calidad.

- Comunicación:

Como un documento actualizado, el plan de control identifica y comunica cambios en las características del producto/proceso, método de control, y características de mediciones.

Al igual que los AMEF, los Planes de Control son definidos por un Equipo Multidisciplinario y se documentan de la siguiente manera:

Se coloca el número del sistema, subsistema o componente que será controlado.

Cuando sea aplicable, se coloca el último cambio hecho por ingeniería y la fecha de emisión del documento después del cambio.

- Nombre de Parte / Descripción

Se coloca el nombre y la descripción del producto/proceso que va a ser controlado.

- Proveedor / Planta

Se coloca el nombre de la compañía y la división/planta/departamento que desarrolla el Plan de Control.

- Código Proveedor

Se coloca el código o el número de identificación de la organización que desarrolla el plan.

- Contacto Clave / Teléfono

Se coloca el nombre y el número de teléfono del contacto primario responsable de los Planes de Control.

- Equipo

Se deben colocar los nombres y teléfonos de todos los miembros del equipo responsables de la definición del Plan de Control. Es recomendable que todos los nombres, números de teléfono y ubicaciones de todos los miembros del equipo, sean incluidos o adjuntados al plan en un listado.

- Aprobación Proveedor / Fecha

Se debe obtener la aprobación del responsable de la planta manufacturera (si aplica o se requiere).

- Fecha (original)

Se coloca la fecha en la que el plan de control original fue desarrollado.

- Fecha (revisión)

Se coloca la fecha en la que el Plan de Control fue actualizado por última vez.

- Aprobación de Ingeniería del Cliente / Fecha

Se debe obtener la aprobación del responsable de ingeniería del cliente (si se requiere o aplica).

- Aprobación de Calidad del Cliente / Fecha

Se debe obtener la aprobación del responsable de calidad del cliente (si se requiere o aplica).

- Otra aprobación / Fecha

Se debe obtener cualquier otra aprobación si se requiere o aplica.

- Número de Parte / Proceso

Este ítem normalmente se relaciona con el código del Diagrama de Flujo del Proceso. Si existen múltiples números de parte, se deben listar individualmente los números de partes y sus procesos conforme.

- Nombre del Proceso / Descripción de la Operación

Todos los pasos en el sistema de manufactura, subsistemas, o componentes son descritos en un diagrama de flujo del proceso. Se debe identificar el nombre del proceso/operación proveniente del Diagrama de Flujo que mejor describe la actividad que se está analizando.

- Máquina / Dispositivo / Herramienta para Manufactura

Para cada operación descrita, se debe identificar la máquina que procesa, dispositivos, herramientas o cualquier otra herramienta de manufactura que sea apropiada para la actividad analizada.

Característica

Corresponde a una característica o propiedad distintiva de un proceso o sus resultados (producto) en el que se pueden recopilar datos de variables o atributos. En el caso que aplique, se deben utilizar ayudas visuales.

- Número

Se debe colocar un número de referencia que esté relacionado con todos los documentos aplicables tales como diagramas de flujos, AMEF, entre otros.

- Producto

Se establecen las características del producto o propiedades de una parte, componente o ensamble que son descritos en los diagramas o en otra información primaria de ingeniería. El Equipo principal deberá identificar características especiales del producto que son una compilación de todos los recursos analizados. Todas las características especiales deben ser listadas en el Plan de Control. Adicionalmente, se pueden enumerar otras características del producto a las cuales se les debe realizar un seguimiento rutinario de los controles del proceso durante la normal operación.

- Proceso

Las características de proceso son las variables del mismo (variables de entrada) que tienen una causa y un efecto relacionados con las características del producto previamente identificadas. Una característica del proceso solamente puede ser medida en el tiempo en que ocurre. El Equipo Principal debe identificar aquellas características del

proceso para las cuales la variación debe ser controlada para minimizar a su vez la variación en el producto. Debe haber una o muchas características del proceso identificadas para cada característica del producto. En algunos procesos una característica del proceso puede afectar muchas características del producto.

- Identificación Característica Especial

Se debe usar la clasificación apropiada y como sea requerida por el fabricante de Equipo Original, para designar el tipo de característica especial o este campo se puede dejar en blanco para otras características no designadas. Los clientes pueden usar símbolos únicos para identificar características importantes, como aquellas que afecten la seguridad del cliente, el cumplimiento de las regulaciones, la función, el ajuste o la apariencia. Estas características se denominan de diferentes maneras “crítica”, “clave”, “seguridad” o “significativa”.

- Especificación / Producto / Proceso

Las especificaciones/tolerancias pueden obtenerse de los documentos de ingeniería, tales como planos, revisiones del diseño, estándar de materiales, diseños asistidos por tecnología, producción y/o requerimientos de ensamble.

- Técnica de Medición / Evaluación

Esta columna identifica el sistema de medición que será utilizado. Esto puede incluir galgas, medidores, herramientas o cualquier equipo de prueba que sea requerido para medir la parte/proceso/equipo de manufactura. Debe realizarse un análisis de linealidad, reproducibilidad, repetitividad, estabilidad y exactitud del sistema de medición con el fin de establecer la confiabilidad del sistema de medición y las mejoras que se requieran acorde estos resultados.

- Tamaño de la Muestra / Frecuencia

Si es requerida una muestra, se debe listar el correspondiente tamaño y frecuencia con la que será tomada.

- Método / Registro de Control

Esta columna contiene una breve descripción de como la operación va a ser controlada, incluyendo los números de los procedimientos cuando sea aplicable. El método de control utilizado debe basarse en un efectivo análisis del proceso. El método de control es determinado por el tipo de proceso que se esté analizando. Las operaciones pueden ser controladas por Control Estadístico de Calidad, Inspecciones, datos atributivos, prueba y error (automatizado/no automatizado), y planes simples. El Plan de Control en su descripción, debe reflejar la planeación y la estrategia a implementar en el proceso de manufactura. El método de control debe ser continuamente evaluado para lograr el nivel de efectividad deseado.

- Plan de Reacción

El plan de reacción especifica las acciones correctivas para evitar producir productos no conformes o que se opere fuera de control. Las acciones normalmente deben ser responsabilidad del personal más cercano al proceso, el operador, el supervisor y deben estar claramente designados en el plan. En todos los casos, si existen sospechas sobre productos no conformes, estos deben estar claramente identificados y en cuarentena, y su disposición debe ser responsabilidad de la persona designada en el plan de reacción.

5.17. Pruebas de Calidad en el Proceso Productivo

Proceso de Producción de Óxido de Plomo: El óxido de plomo, es una materia prima muy importante para el proceso siguiente, y para ello debe cumplir ciertas características de calidad que se establecen en el plan de control.

- Densidad aparente
- Absorción atómica
- Granulometría
- Plomo libre

Proceso de Producción de Rejillas de Gravedad: Durante el proceso de producción de rejillas, se verifican unas características críticas del producto, identificadas en el AMEF y que se encuentran dentro del plan de control.

- ✓ Inspección por Variable:
 - Peso del Panel

En el proceso de producción de rejillas, la maquina rejilladora por cada ciclo, produce un panel, el cual corresponde a dos rejillas que salen del molde pegadas, ya que esto es necesario para el proceso de empaste.

Para hacer control de calidad a este proceso, inicialmente se controla el peso del panel que corresponde al peso de dos rejillas; donde se revisa el peso del panel, el cual debe ser igual a la suma del peso de dos rejillas.

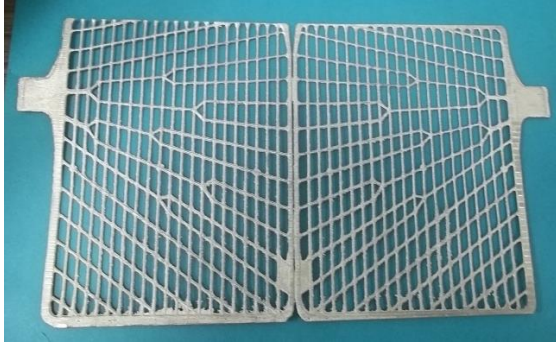


Figura 13. Panel de Rejilla. Fuente: Elaboración propia.

- **Peso de Cada Rejilla**

El control de calidad al peso de la rejilla es muy importante, ya que esta es la estructura, o esqueleto de la placa. Para realizar esta inspección se toma un panel y se divide en las dos rejillas y se pesan las dos rejillas, y la diferencia de peso entre estas dos rejillas no debe superar los 2 gramos.



Figura 14. Rejilla Individual. Fuente: Elaboración propia.

- **Espesor del Marco de la Rejilla**

El espesor del marco se mide con un micrómetro de cuchilla, el cual es muy adecuado para esta superficie. Esta característica es muy importante porque se garantiza que la rejilla sea homogénea, y detecta cuando el molde no llenó bien, ya que, aunque la rejilla tenga el peso nominal, este puede estar mal distribuido en todo el cuerpo de la rejilla.



Figura 15. Medición Espesor Rejilla. Fuente: Elaboración propia.

- Espesor de la Oreja de la Rejilla

El espesor de la rejilla se mide con el micrómetro, y también es una característica de calidad muy importante porque la oreja de la rejilla es el soporte de unión y conductor entre la placa y el conector de la batería.



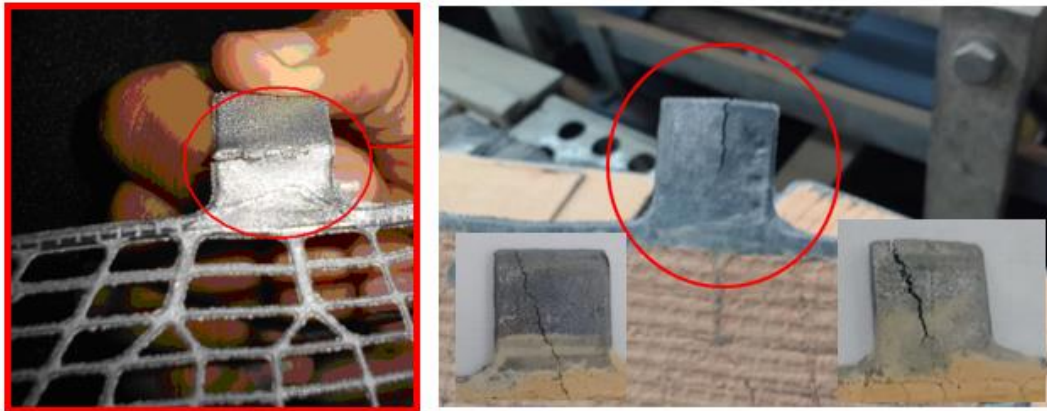
Figura 16. Medición Espesor Oreja. Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Inspección por Atributos:

- Ausencia de Agrietamientos

Una característica de calidad de atributiva importante en la rejilla es la ausencia de grietas. Las grietas afectan la calidad de la soldadura entre el puente y la oreja de la rejilla.

OREJA AGRIETADA



SE DEBE RECHAZAR

Figura 17. Agrietamientos. Fuente: Elaboración propia.

- Trama Débil

La trama débil no se permite en la rejilla, esta característica de calidad se inspecciona de forma manual por cada operario o inspector, quien realizando un esfuerzo de estiramiento tomando cada extremo de la rejilla esta no debe partir en ningún punto.

TRAMA DEBIL



**REALIZAR PRUEBA
DE TRACCIÓN**

Zona Crítica	Se debe Rechazar
Zona No Crítica	No se rechaza con las siguientes condiciones: Operario debe corregir y revisar estiba inmediatamente y el defecto no puede presentarse en gran proporción en cada grupo revisado.

Figura 18. Trama Débil. Fuente: Elaboración propia.

- Trama Mal Llenada

La trama mal llenada, o faltante en la trama, es un defecto atributivo que se presenta en las rejillas generalmente cuando hay suciedades en el molde y no alcanza a llegar el plomo líquido a todas las cavidades. Para la detección de este defecto es necesaria la inspección visual por parte del operario e inspector.

TRAMA MAL LLENADA

SE DEBE RECHAZAR, NO SE ACEPTA
ALAMBRE FALTANTE EN NINGUNA ZONA

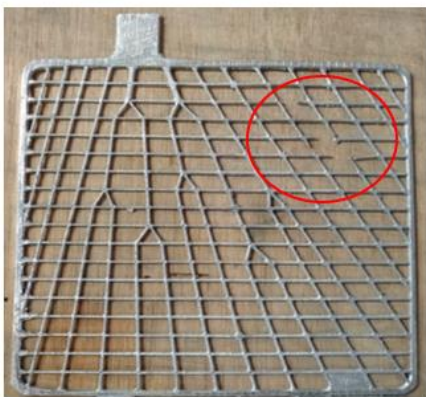


Figura 19. Trama Mal Llenada. Fuente: Elaboración propia.

- Rebaba

En las rejillas, no se acepta que se presenten rebabas, esto se puede presentar por corcho mal aplicado en el molde. La inspección para la detección de este defecto es de forma visual.

REBABA EN LA OREJA



Figura 20. Rebaba. Fuente: Elaboración propia.

- Mal Corte

Este defecto se presenta en las rejillas generalmente al inicio de producción o cambio de turno, ya que es por mal cuadro en el troquel, lo cual se inspecciona de forma visual por parte de los operarios e inspectores.



Figura 21. Mal Corte. Fuente: Elaboración propia.

- Marco Partido

El marco partido es un defecto que se presenta en la rejilla cuando se presentan burbujas o mal llenado.



Figura 22. Marco Partido. Fuente: Elaboración propia.

Preparación de Mezclas: La preparación de la mezcla para el empaste de placas positivas y negativas, es quizás uno de los más críticos en la fabricación de una batería, ya que su composición y características son fundamentales en el funcionamiento final de la batería.

✓ Control de Aditivos:

- Cantidad óxido de plomo a agregar
- Cantidad de agua a agregar
- Cantidad y densidad de ácido sulfúrico a agregar
- Cantidad de fibra a agregar
- Cantidad de dióxido de titanio a agregar
- Cantidad de negative expander a agregar
- Cantidad de sulfato de vario a agregar

✓ Control del Producto Final (Mezcla)

- Temperatura al Final de la Caída del Acido

En el proceso de mezclado, se controlan diferentes características de calidad a medida que se van agregando los aditivos. Una vez se agrega el ácido sulfúrico a la mezcla, esta tiende a elevar la temperatura por la reacción exotérmica, y si no se controla se puede quemar la mezcla, por lo tanto, esto fue incluido como un riesgo dentro del AMEF y se controla para evitar que se presente el problema. La temperatura se mide 15 minutos después de que se agrega el ácido y hay un parámetro establecido para ello.



Figura 23. Medición Temperatura después del Ácido. Fuente: Elaboración propia.

- Temperatura al Final de la Mezcla

La temperatura al final de la mezcla, se controla ya que se necesita que la mezcla esté a cierta temperatura, para poder medir otros parámetros que pueden variar de acuerdo a la temperatura de la mezcla y se mide con un termómetro por parte del operario en cada mezcla que se realiza.



Figura 24. Medición Temperatura Final de la Mezcla. Fuente: Elaboración propia.

- Densidad de la Mezcla

La densidad de la mezcla, es una característica muy importante que se controla en el proceso de mezclado; estrictamente esto quiere decir que, si esta característica no se cumple, la mezcla se debe rechazar, y la calidad de esta depende de la correcta adición de los aditivos, los tiempos de adición y cantidades exactas.



Figura 25. Medición de la Densidad de la Mezcla. Fuente: Elaboración propia.

- Plasticidad de la Mezcla

A diferencia de la densidad de la mezcla, la plasticidad es muy importante únicamente para el proceso de empaste, es decir, si la plasticidad no está en los parámetros correctos, no será posible empastar las rejillas.



Figura 26. Medición Plasticidad de la Mezcla. Fuente: Elaboración propia.

Proceso de Empaste (Producción de Placas): En este proceso, por medio de un rodillo de empaste y una zapata, se recubre toda la rejilla con la mezcla o pasta, y se deben controlar las siguientes características de calidad:

- ✓ Inspección por Variable:
 - Peso del Material Activo Húmedo

El peso del material activo húmedo, es una característica de calidad muy importante en la placa, la cual es el corazón de la batería. En una balanza se pesa la placa (entiéndase como placa REJILLA + MEZCLA), es decir, se toma la rejilla y se empasta. En la balanza se resta el peso de la rejilla y se controla estrictamente el peso de mezcla o material activo que se le agrega a cada rejilla, la cual al final forma una placa.

- Humedad del Material Activo a la Salida del Túnel de Secado

Una vez que la placa está recién empastada, se pasa inmediatamente por un túnel donde se extrae un porcentaje de humedad a la placa, lo cual es muy importante para el proceso siguiente que es el curado de las placas. El porcentaje de humedad se debe encontrar dentro de un parámetro y es controlable con la temperatura del túnel.



Figura 27. Medición de la Humedad Material Activo. Fuente: Elaboración propia.

- Temperatura de las Placas a la Salida del Túnel

La temperatura de las placas a la salida del túnel, es muy importante para el proceso siguiente que es el curado, es decir, si esta no está dentro del rango de temperatura establecido, puede empezar a reaccionar las placas antes de entrar al cuarto de curado. Esta característica de calidad se mide con termómetro.



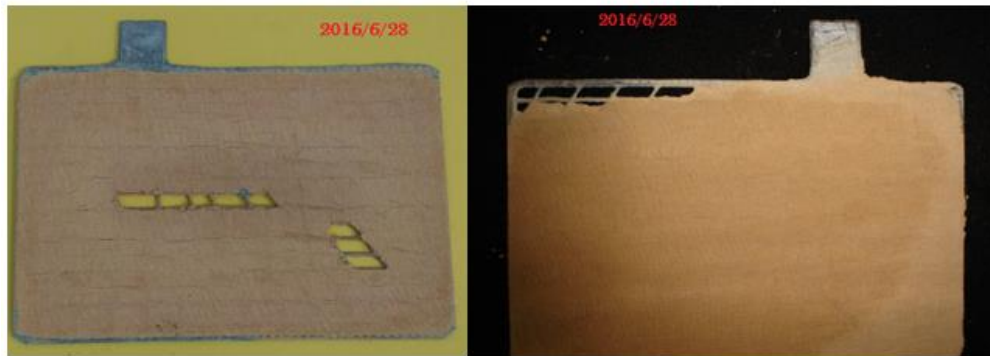
Figura 28. Medición Temperatura Salida del Túnel. Fuente: Elaboración propia.

✓ Inspección por Atributos

- Alveolos Faltantes

Este defecto suele presentarse generalmente al inicio de cada turno, y su método de inspección es visual, donde se observan partes de la rejilla sin material activo.

2. ALVEOLO FALTANTE



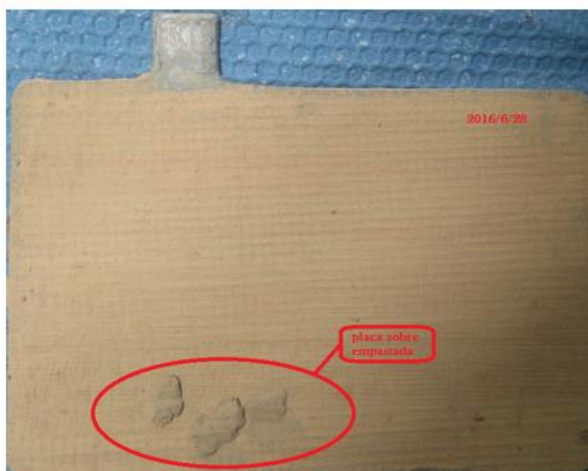
Las placas no deben tener mas de 3 alveolos completos seguidos con material activo faltante y/o no pueden tener mas de 5 alveolos completos con material activo faltante en toda su superficie. **LOS EJEMPLOS DE LAS FOTOS SE RECHAZAN**

Figura 29. Alveolo Faltante. Fuente: Elaboración propia.

- Mal Empaste

El mal empaste, es un defecto que se puede identificar fácilmente por parte del operario, ya que la placa no queda consistente a causa del mal cuadro en la máquina. Este defecto se inspecciona visualmente.

8. MAL EMPASTE



Las placas no deben salir con sobre-empaste, debido a que estos residuos “fuertes” ocasionan rasgaduras en los sobres, y cortos entre placas lo que inhabilita a la batería en funcionamiento. **EL EJEMPLO DE LA FOTO SE RECHAZA**

Figura 30. Mal Empaste. Fuente: Elaboración propia.

- Placa Agrietada

Las grietas que se presentan en la superficie de la placa son muy críticas y se deben controlar con la temperatura del túnel de secado, es decir cuando extraemos alta humedad en las placas tienen a aparecer grietas. Esta inspección se hace de forma visual.

4. PLACA AGRIETADA



Las placas no deben presentar maltratos, ni grietas por la máquina u operarios durante la recolección de las mismas. **EL EJEMPLO DE LA FOTO SE RECHAZA**

Figura 31. Placa Agrietada. Fuente: Elaboración propia.

- Oreja Sucia

Este defecto es muy crítico para el proceso de ensamble, debido a que las orejas no tendrán una buena soldadura en el puente; es por esto que se debe controlar estrictamente este defecto en la sección de empaste. La inspección es de forma visual.

1. OREJA SUCIA



Figura 32. Oreja Sucia. Fuente: Elaboración propia.

- Placa Curvada

La placa se curva cuando hay exceso de presión en el empaste. Es muy importante controlar este defecto que afecta el ensamble de las baterías. La inspección es de forma visual.

3. PLACAS COMBADAS



Las placas deben presentar una apariencia recta, sin dobles ni curvaturas. ES IMPORTANTE TOMAR CORRECTIVOS CUANDO SE DETECTEN PLACAS CON CURVATURA.

Figura 33. Placa Combada. Fuente: Elaboración propia.

Proceso de Curado y Secado: En el proceso de curado se busca generar una cohesión entre la mezcla y la rejilla, en un rango de temperaturas elevadas, y alcanzadas a través de una reacción exotérmica entre las mismas placas dentro de un medio cerrado. Para dar cumplimiento a este proceso se requiere monitorear la siguiente característica de calidad:

- Temperatura del Proceso de Curado

El proceso de curado es una parte muy importante en la fabricación de las placas. Una de las variables críticas que se controlan en el proceso es la temperatura del curado, ya que en dicha temperatura se forman unos cristales tribásicos que son esenciales para el funcionamiento de la batería.

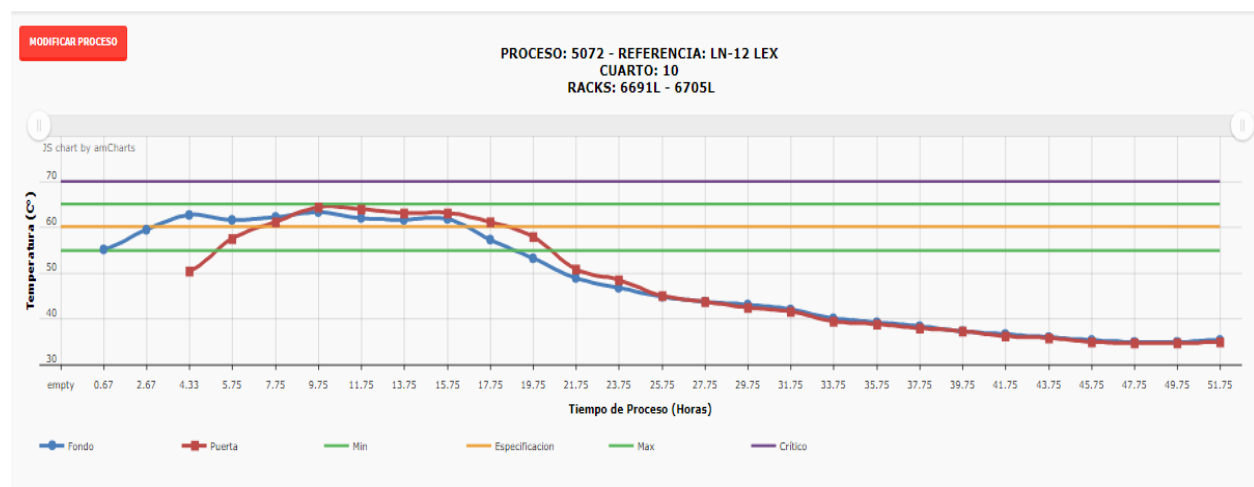


Figura 34. Proceso de Curado 1. Fuente: Elaboración propia.

- Tiempo de Proceso de Curado

Al igual que la temperatura; el tiempo de proceso de curado se controla estrictamente para garantizar la calidad del curado. Esta inspección está muy ligada a la temperatura de curado, es decir, se registra en el mismo formato y se controla con la misma gráfica.

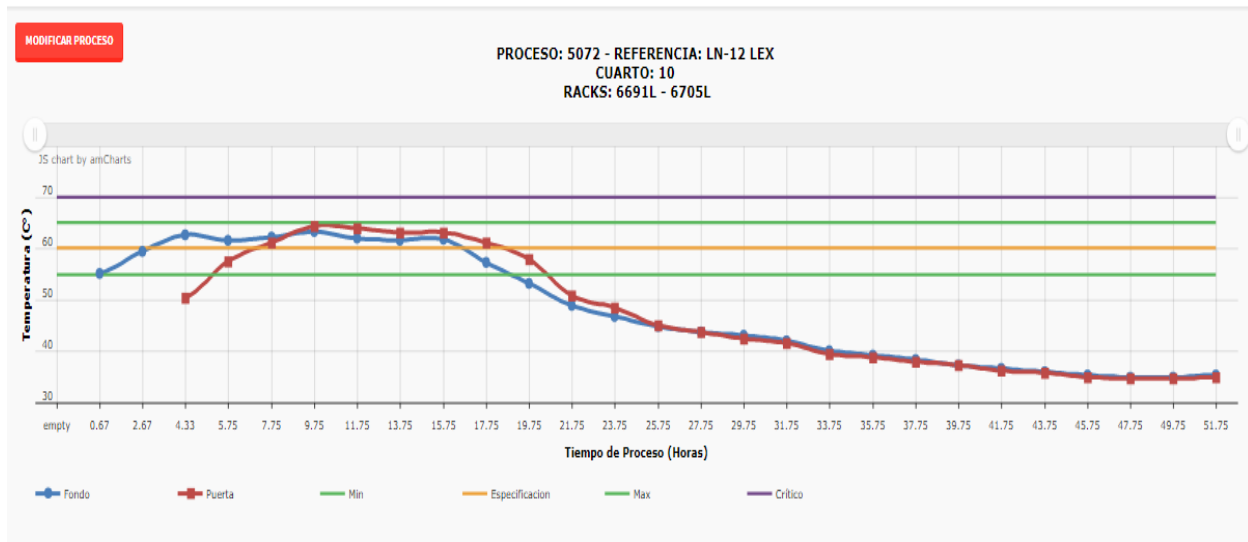


Figura 35. Proceso de Curado 2. Fuente: Elaboración propia.

- Porcentaje de Plomo Libre

El porcentaje de plomo libre se controla por parte del laboratorio fisicoquímico, donde se toma una muestra de acuerdo a la MLSTD y se verifica por medio de un análisis químico, la cantidad o el porcentaje de plomo metálico que no alcanzó a reaccionar en el curado.

- Porcentaje de Humedad

El porcentaje de humedad en la placa se controla por parte del laboratorio fisicoquímico, donde se toma una muestra representativa de acuerdo a la MLSTD y se verifica el porcentaje de humedad que hay en la placa.

- ✓ Una vez estas placas terminan su proceso de curado, se trasladan a unos cuartos de secado, donde se extrae la humedad restante en las placas a través de calentamiento por medio de combustión.

- Porcentaje de Humedad de las Placas

Esta inspección es realizada por parte del laboratorio fisicoquímico y se busca determinar por medio de un análisis químico, si aún queda humedad en la placa ya que cuando esta se presenta genera reacciones exotérmicas.

- Porcentaje Plomo libre de las Placas

El porcentaje de plomo libre en las placas se controla por parte del laboratorio, donde se determina si existe plomo metálico que no alcanzó a reaccionar en el proceso de curado.

Proceso de Certificación de Racks: En esta etapa del proceso, se procede a realizar un muestreo a las placas que anteriormente han terminado su proceso de curado y secado para emitir un certificado de conformidad para su uso o no en el proceso de ensamble. Esta inspección se realiza en el laboratorio físico-químico y se miden las siguientes variables y atributos:

✓ Inspección por Variables:

- Peso del Material Activo en la Placa y Espesor de la Placa.

Para la realización de la inspección de peso del material activo en la placa, se toma una muestra aleatoriamente por cada rack. Estas placas se pesan y se mide el espesor en el laboratorio físico químico en una balanza debidamente certificada y verificada. La conformidad de la muestra está basada en el resultado del promedio del peso de las tres placas muestreadas.

- Plomo Libre

El porcentaje de plomo libre se realiza por cada cuarto de curado. El muestreo se basa en tomar una placa y realizar la prueba para determinar si el plomo libre reaccionó completamente.

- Porcentaje de Humedad

El porcentaje de humedad se realiza por cada cuarto de curado, donde se toma una placa y se analiza el porcentaje de humedad que tiene la placa al final para posteriormente proceder con su certificación.

Proceso de Ensobrado: Esta es la primera etapa del proceso de ensamble de una batería, donde se embolsan las placas negativas en unos separadores de polipropileno para armar los grupos y evitar que haya contacto entre las placas positivas y negativas y así de esta manera evitar un corto en la batería.

Las características de calidad que se inspeccionan y se controlan son las siguientes:

- ✓ Inspección por Variable:
 - Altura del sobre (mm)
 - Traslape del sobre (mm)
- ✓ Inspección por Atributo:
 - Resistencia a la prueba de estiramiento
 - Ausencia de perforaciones o agujeros
 - Ausencia de rasgaduras
 - Ausencia de mal sellado

Producción de Elementos (Proceso COS): En esta etapa del proceso se sueldan las placas en un conector para formar los elementos que conforman una batería. Es uno de los procesos más críticos en el ensamble de la batería, ya que los parámetros de operación son muy pequeños y no se permite suficiente holgura para desviaciones. A continuación, se muestran las características de calidad que se controlan en esta sección:

- ✓ Inspección por Variables:
 - Altura del elemento
 - Espesor de conectores
 - Peso de conectores

✓ Inspección por Atributos:

- Ausencia de agrietamientos en los conectores
- Ausencia de placas mal soldadas
- Ausencia de huecos en los conectores
- Ausencia de mal llenado en los conectores
- Ausencia de menisco negativo

Proceso de Soldadura Intercelda: En esta etapa del proceso se unen todas las celdas por medio de unos electrodos, corriente, voltaje y presión con el objetivo de cerrar el circuito de la batería. Los controles de calidad que se realizan en esta sección son las siguientes:

- Porcentaje de área soldada del punto de soldadura

Proceso de Sellado Térmico: En este proceso tiene como objetivo colocar la cubierta a la batería por medio de sellado en caliente por medio de unas planchas, y sellado a presión por medio de pistones. Se controla las siguientes características:

✓ Inspección por Variable:

- Prueba de ausencia de fugas por medio de inyección de aire a presión
- Milímetro de quemado

✓ Inspección por Atributo:

- Ausencia de rebabas
- Ausencia de fuga externa
- Ausencia de fuga intercelda
- Ausencia de mal Centramiento entre la caja y la cubierta

Proceso de Quemado de Postes Terminales: En el siguiente proceso se da forma a los terminales de la batería, por medio de una soldadura entre el poste del conector y el buje de la cubierta por medio de fundición con oxicorte. Se controlan las siguientes características de calidad:

✓ Inspección por Variable:

- Altura del poste terminal
- Altura de quemado entre el poste y el buje

✓ Inspección por Atributos:

- Ausencia de porosidad
- Ausencia de grietas

Proceso de Carga de la Batería: El siguiente proceso es uno de los finales dentro del proceso de fabricación de la batería, y uno de los procesos finales más importantes para las condiciones finales de la batería. Inicialmente las baterías deben ser rellenas de ácido sulfúrico con densidades específicas de acuerdo al tipo de batería y el clima del mercado. De lo anterior se controla lo siguiente:

- Densidad de llenado
- Nivel de llenado
- Temperatura del electrolito a llenar

Proceso de Carga de la Batería: Después que la batería es rellena de ácido, se ingresan a las mesas de carga donde se conectaran por cada circuito 18 baterías en serie; luego estas mesas se llenan de agua para controlar la temperatura de la batería durante el proceso de

carga. Para garantizar una buena formación de la batería se controlan las siguientes características:

- Cantidad de amperios hora a cargar
- Temperatura del circuito
- Temperatura del agua de la mesa
- Voltaje final a la salida de carga
- Densidad final a la salida de carga

Proceso de Nivelado: Una vez las baterías terminan su proceso de carga, se les debe reponer el ácido que perdieron por evaporación durante el proceso de la carga. Aquí se controlan las siguientes características:

- Densidad de nivelado
- Nivel de nivelado

Proceso de Acabado y Etiquetado: En esta etapa del proceso la batería es lavada y secada por medio de un túnel automático y finalmente se realiza una prueba final de arranque en el equipo de Altarrata. La batería que pase la prueba, es etiquetada y rotulada para su traslado hacia el almacén de despacho. Aquí se controlan las siguientes características.

- Prueba de Altarrata (pasa – no pasa)
- Ausencia de etiquetas dobladas
- Ausencia de etiquetas arrugadas
- Ausencia de precauciones sin información
- Ausencia de humedad

Normas Técnicas para Pruebas Eléctricas

La Norma Técnica Colombiana NTC 978-1 (2011) “Baterías de Arranque Plomo Ácido.

Requisitos y Métodos de Ensayo. Parte 1: Automóviles.” Define lo siguiente:

- Capacidad de Reserva. (Minutos, Min) Tiempo en que una batería completamente cargada se puede descargar a un régimen de $25^{\circ} \pm 0,25^{\circ}$ con un voltaje de corte de 10,5 V.
- Arranque en Frío. (Amperios, A). Capacidad de la batería para alimentar un motor de arranque a una temperatura de $-18^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ con un voltaje de corte de 7,2 V.

Con respecto a los Métodos de Ensayo, la norma los define de la siguiente manera:

- Capacidad Nominal de Reserva ($C_{r,n}$)
 1. Durante los ensayos, la batería debe ser colocada en un baño de agua a una temperatura de $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$. La base del borne de la batería debe estar entre 15 mm a 25 mm sobre el nivel del agua. Si la prueba se realiza con mas de una batería en el mismo baño de agua, la distancia entre ellas y las paredes del baño debe ser como mínimo 25 mm.
 2. La batería debe ser descargada con una corriente de $25 \text{ A} \pm 1 \%$ hasta que el voltaje en el borne descienda a $10,5 \text{ V} \pm 0,05 \text{ V}$. La duración t (en minutos) de la descarga debe ser registrada. El inicio de la descarga debe llevarse a cabo entre 1 h a 5 h después de la culminación de la carga.

La temperatura de la batería medida en una de las celdas intermedias, si aplica, debe ser de $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ antes que la descarga comience. $C_{r,e} = t \text{ (min)}$.

Si la temperatura final de la batería es diferente a $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ debe usarse la siguiente fórmula de corrección: $C_{r,e} 25^{\circ}\text{C} = C_{r,eT}[1-0,009(T_f-25)]$

- Arranque en Frio

Temperatura Estándar

1. Después de un período de reposo de hasta 24 h, posterior al acondicionamiento establecido en la norma, la batería debe ser ubicada en un cuarto frío con circulación de aire (forzada) a una temperatura de $-18\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta que la temperatura en una de las celdas intermedias alcance los $-18\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Nota: Por lo general la temperatura requerida es obtenida después de un período mínimo de 24 horas, al interior del cuarto frío.

2. Después la batería debe ser descargada, bien sea adentro o afuera del cuarto frío durante los 2 minutos posteriores a la culminación del período de enfriamiento, con una corriente I_{cc} . Esta corriente debe ser mantenida constante en $\pm 0,5\%$ durante la descarga.
3. Después de 10 s de descarga el voltaje entre bornes debe ser registrado. Después de 30 s de descarga (desde el inicio de la descarga) el voltaje entre bornes debe ser registrado y debe interrumpirse la corriente.
4. Se puede continuar la prueba después de un período de reposo de $20\text{ s} \pm 1\text{ s}$.
5. A continuación, la batería se puede descargar a $0,6 I_{cc}$. La corriente debe mantenerse constante entre $\pm 0,5\%$ durante la descarga. Se debe terminar la descarga cuando el voltaje de la batería alcance los 6V.
6. El tiempo de descarga en segundos a una corriente de $0,6 I_{cc}$ hasta que la batería alcance los 6V, debe ser registrado.

NOTA: La prueba de arranque en frío, está relacionada directamente con la ley de Ohm, donde por medio de una descarga constante durante un tiempo se pretende determinar la calidad de las conexiones internas a través de la caída de potencial como variable de respuesta. Es decir, una batería que presente una conexión deficiente, al momento de pasar la corriente se genera una resistencia y se presenta una caída de potencial antes de finalizar la prueba.

De acuerdo a lo anterior, y teniendo en cuenta el cumplimiento de las características de la conexión en serie de la batería, se decide determinar por medio de la ley de Ohm si la soldadura intercelda es un factor significativo para los resultados de pruebas de descarga.

- Resumen de Requisitos

Los requisitos aplicables a las características básicas funcionales objeto del presente estudio (Capacidad Nominal de Reserva y Arranque en Frío) se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 6.
Requisitos aplicables a las Características Objeto de Estudio.

Características Funcionales	Requisitos	Comentarios
Capacidad Nominal de Reserva	$C_{re} > C_{rn}$	Para baterías especificadas en Capacidad de Reserva
	$V_{10s} \geq 7,5V$	Obligatorio
	$V_{30s} \geq 7,2V$	Obligatorio
Arranque en Frío – 18°C	$t_{6v} \geq 40s$	Opcional
	$Tiempo\ Total \geq 90s = (30/0,6\ s + 40\ s)$	

Fuente: Elaboración propia.

Otras normas técnicas internacionales que soportan la realización de estas pruebas son la SAE J 240:2007 “Life Test For Automotive Storage Batteries” y la SAE J 537:2016 “Storage Batteries”.

6. Metodología

6.1. Herramientas y Técnicas Estadísticas Empleadas

6.1.1. Aplicación del Método Delphi.

El método Delphi, cuyo nombre se inspira en el antiguo oráculo de Delphos, parece que fue ideado originalmente a comienzos de los años 50 en el seno del Centro de Investigación estadounidense RAND Corporation por Olaf Helmer y Theodore J. Gordon, como un instrumento para realizar predicciones sobre un caso de catástrofe nuclear. Desde entonces, ha sido utilizado frecuentemente como sistema para obtener información sobre el futuro.

Linstone y Turoff (2002), definen la técnica Delphi como un método de estructuración de un proceso de comunicación grupal que es efectivo a la hora de permitir a un grupo de individuos, como un todo, tratar un problema complejo.

Una Delphi consiste en la selección de un grupo de expertos a los que se les pregunta su opinión sobre cuestiones referidas a acontecimientos del futuro. Las estimaciones de los expertos se realizan en sucesivas rondas, anónimas, al objeto de tratar de conseguir consenso, pero con la máxima autonomía por parte de los participantes.

Por lo tanto, la capacidad de predicción de la Delphi se basa en la utilización sistemática de un juicio intuitivo emitido por un grupo de expertos.

Es decir, el método Delphi procede por medio de la interrogación a expertos con la ayuda de cuestionarios sucesivos, a fin de poner de manifiesto convergencias de opiniones y deducir eventuales consensos. La encuesta se lleva a cabo de una manera anónima (actualmente es habitual realizarla haciendo uso del correo electrónico o mediante cuestionarios web establecidos al efecto) para evitar los efectos de “líderes”. El objetivo de los cuestionarios sucesivos, es “disminuir el espacio intercuartil precisando la mediana”.

Las preguntas se refieren, por ejemplo, a las probabilidades de realización de hipótesis o de acontecimientos con relación al tema de estudio (que en nuestro caso sería el desarrollo futuro del sector que estamos analizando). La calidad de los resultados depende, sobre todo, del cuidado que se ponga en la elaboración del cuestionario y en la elección de los expertos consultados.

Por lo tanto, en su conjunto el método Delphi permitirá prever las transformaciones más importantes que puedan producirse en el fenómeno analizado en el transcurso de los próximos años.

En la familia de los métodos de pronóstico, habitualmente se clasifica al método Delphi dentro de los métodos cualitativos o subjetivos.

Aunque, la formulación teórica del método Delphi propiamente dicho comprende varias etapas sucesivas de envíos de cuestionarios, de vaciado y de explotación, en buena parte de los casos puede limitarse a dos etapas, lo que sin embargo no afecta a la calidad de los resultados tal y como lo demuestra la experiencia acumulada en estudios similares.

Como es sabido, el objetivo de los cuestionarios sucesivos, es “disminuir el espacio intercuartil, esto es cuanto se desvía la opinión del experto de la opinión del conjunto, precisando la mediana”, de las respuestas obtenidas. El objetivo del primer cuestionario es calcular el espacio intercuartil. El segundo suministra a cada experto las opiniones de sus colegas, y abre un debate transdisciplinario, para obtener un consenso en los resultados y una generación de conocimiento sobre el tema. Cada experto argumentará los pros y los contras de las opiniones de los demás y de la suya propia. Con la tercera consulta se espera un todavía mayor acercamiento a un consenso.

De manera resumida los pasos que se llevarán a cabo para garantizar la calidad de los resultados, para lanzar y analizar la Delphi deberían ser los siguientes:

6.1.2. Fase 1: Formulación del Problema.

Se trata de una etapa fundamental en la realización de un Delphi. En un método de expertos, la importancia de definir con precisión el campo de investigación es muy grande por cuanto que es preciso estar muy seguros de que los expertos reclutados y consultados poseen toda la misma noción de este campo.

La elaboración del cuestionario debe ser llevada a cabo según ciertas reglas: las preguntas deben ser precisas, cuantificables (versan por ejemplo sobre probabilidades de realización de hipótesis y/o acontecimientos, la mayoría de las veces sobre datos de realización de acontecimientos) e independientes (la supuesta realización de una de las cuestiones en una fecha determinada no influye sobre la realización de alguna otra cuestión).

6.1.3. Fase 2: Elección de Expertos.

La etapa es importante en cuanto que el término de “experto” es ambiguo. Con independencia de sus títulos, su función o su nivel jerárquico, el experto será elegido por su capacidad de encarar el futuro y posea conocimientos sobre el tema consultado. La falta de independencia de los expertos puede constituir un inconveniente; por esta razón los expertos son aislados y sus opiniones son recogidas por vía postal o electrónica y de forma anónima; así pues se obtiene la opinión real de cada experto y no la opinión más o menos falseada por un proceso de grupo (se trata de eliminar el efecto de los líderes).

6.1.4. Fase 3: Elaboración y Lanzamiento de los Cuestionarios

Esta fase se ejecuta en paralelo con la Fase 2.

Los cuestionarios se elaborarán de manera que faciliten, en la medida en que una investigación de estas características lo permite, la respuesta por parte de los consultados.

Preferentemente las respuestas habrán de poder ser cuantificadas y ponderadas (año de realización de un evento, probabilidad de realización de una hipótesis, valor que alcanzará en el futuro una variable o evento).

Se formularán cuestiones relativas al grado de ocurrencia (probabilidad) y de importancia (prioridad), la fecha de realización de determinados eventos relacionadas con el objeto de estudio: necesidades de información del entorno, gestión de la información del entorno, evolución de los sistemas, evolución en los costes, transformaciones en tareas, necesidad de formación.

En ocasiones, se recurre a respuestas categorizadas (Si/No; Mucho/Medio/Poco; Muy de acuerdo/ De acuerdo/ Indiferente/ En desacuerdo/Muy en desacuerdo) y después se tratan las respuestas en términos porcentuales tratando de ubicar a la mayoría de los consultados en una categoría

6.1.5. Fase 4: Desarrollo Práctico y Explotación de Resultados.

El cuestionario es enviado a cierto número de expertos (hay que tener en cuenta las no-respuestas y abandonos. Se recomienda que el grupo final no sea inferior a 25). Naturalmente el cuestionario va acompañado por una nota de presentación que precisa las finalidades, el espíritu del Delphi, así como las condiciones prácticas del desarrollo de la encuesta (plazo de respuesta, garantía de anonimato). Además, en cada cuestión, puede plantearse que el experto deba evaluar su propio nivel de competencia.

El objetivo de los cuestionarios sucesivos es disminuir la dispersión de las opiniones y precisar la opinión media consensuada. En el curso de la 2ª consulta, los expertos son informados de los resultados de la primera consulta de preguntas y deben dar una nueva respuesta y sobre todo deben justificarla en el caso de que sea fuertemente divergente con respecto al grupo. Si

resulta necesaria, en el curso de la 3ª consulta se pide a cada experto comentar los argumentos de los que disienten de la mayoría. Un cuarto turno de preguntas, permite la respuesta definitiva: opinión consensuada media y dispersión de opiniones (intervalos intercuartiles).

Algunas cuestiones adicionales Número óptimo de expertos Aunque no hay forma de determinar el número óptimo de expertos para participar en una encuesta Delphi, estudios realizados por investigadores de la Rand Corporation⁵, señalan que si bien parece necesario un mínimo de siete expertos habida cuenta que el error disminuye notablemente por cada experto añadido hasta llegar a los siete expertos, no es aconsejable recurrir a más de 30 expertos, pues la mejora en la previsión es muy pequeña y normalmente el incremento en coste y trabajo de investigación no compensa la mejora.

6.1.6. Utilidad y Límites del Método Delphi.

Una de las ventajas del Delphi es la quasi-certeza de obtener un consenso en el desarrollo de los cuestionarios sucesivos (pero ¡atención! Convergencia o consenso no significa coherencia). Por lo demás, la información recogida en el curso de la consulta acerca de acontecimientos, tendencias, rupturas determinantes en la evolución futura del problema estudiado, es generalmente rica y abundante. Finalmente, este método ¹³ puede utilizarse indistintamente tanto en el campo de la tecnología, de la gestión y de la economía como en el de las ciencias sociales.

Varios son los problemas que limitan el alcance del método que se revela largo, costoso, fastidioso e intuitivo más que racional. Si bien es cierto que las nuevas tecnologías han permitido el relanzamiento del método Delphi, que ciertamente había caído en cierto desuso. La tramitación presionante (encuesta en varias tandas) es además discutible puesto que solo los expertos que se salen de la norma deben justificar su posición. Sin embargo, podemos considerar

también que la opinión de los divergentes es, en términos de prospectiva, más interesante que aquella de los que entran en el rango. Por otra parte, no se toman en consideración las posibles interacciones entre las hipótesis consideradas y son incluso evitados en la propia construcción de la encuesta, esto es lo que ha conducido a los promotores del método Delphi a desarrollar los métodos de impactos cruzados probabilistas.

6.1.7. Regresión Lineal

La correlación lineal y la regresión lineal simple son métodos estadísticos que estudian la relación lineal existente entre dos variables. La correlación cuantifica como de relacionadas están dos variables, mientras que la regresión lineal consiste en generar un modelo que, basándose en la relación existente entre ambas variables, permita predecir el valor de una a partir de la otra.

El cálculo de la correlación entre dos variables es independiente del orden o asignación de cada variable y mide únicamente la relación entre ambas sin considerar dependencias. En el caso de la regresión lineal, el modelo varía según qué variable se considere dependiente de la otra (lo cual no implica causa-efecto).

A nivel experimental, la correlación se suele emplear cuando ninguna de las variables se ha controlado, simplemente se han medido ambas y se desea saber si están relacionadas. En el caso de estudios de regresión lineal, es más común que una de las variables se controle y se mida la otra. En el caso de este estudio, se utilizó la correlación para evaluar la relación existente entre los factores de estudio, con el fin de establecer si el comportamiento de un factor tiene o no respuesta en el resultado final de la capacidad eléctrica de la batería.

La correlación en si tiene las siguientes ventajas:

- Sus resultados pueden comunicarse con facilidad y son de fácil entendimiento.

- Permite el estudio de situaciones en donde una intervención experimental sería inadecuada.

- Utiliza métodos estadísticos de fácil aplicación.

- Posibilita la recopilación de grandes cantidades de información.

Existen además 2 tipos de correlación:

- Correlación Positiva: Se asocian dos variables y en la medida en que una aumenta la otra también aumenta.

- Correlación Negativa: Se asocian dos variables y en la medida en que una aumenta la otra disminuye.

6.1.8. Anova

Un análisis de varianza (ANOVA) prueba la hipótesis de que las medias de dos o más poblaciones son iguales. Los ANOVA evalúan la importancia de uno o más factores al comparar las medias de la variable de respuesta en los diferentes niveles de los factores. La hipótesis nula establece que todas las medias de la población (medias de los niveles de los factores) son iguales mientras que la hipótesis alternativa establece que al menos una es diferente.

Para ejecutar un ANOVA, se debe tener una variable de respuesta continua y al menos un factor categórico con dos o más niveles. Los análisis ANOVA requieren datos de poblaciones que sigan una distribución aproximadamente normal con varianzas iguales entre los niveles de factores. Sin embargo, los procedimientos de ANOVA funcionan bastante bien incluso cuando se viola el supuesto de normalidad, a menos que una o más de las distribuciones sean muy asimétricas o si las varianzas son bastante diferentes. Las transformaciones del conjunto de datos original pueden corregir estas violaciones.

En un análisis de ANOVA si el valor p es menor que el nivel de significancia, se puede concluir que al menos una media es diferente. El nombre “análisis de varianza” se basa en el enfoque en el cual el procedimiento utiliza las varianzas para determinar si las medias son diferentes. El procedimiento funciona comparando la varianza entre las medias de los grupos y la varianza dentro de los grupos como una manera de determinar si los grupos son todos parte de una población más grande o poblaciones separadas con características diferentes.

6.1.9. Minitab

Minitab es una herramienta informática enfocada al análisis de datos complejos y a la identificación y resolución de problemas relativos a procesos, por ello Minitab se ha convertido en un instrumento fundamental para todas aquellas compañías con procesos productivos que requieren de un software de análisis para poder controlar fácilmente esos procesos o mejorar el rendimiento de sus cadenas de producción.

Minitab ofrece herramientas precisas y fáciles de usar para aplicaciones estadísticas generales y muy especialmente para control de calidad. Líder tradicional en la docencia de la estadística está hoy presente en las más prestigiosas empresas.

En un entorno cambiante, en permanente evolución, las organizaciones necesitan evaluar todos los aspectos implicados en sus procesos. A este efecto, las herramientas estadísticas nos permiten acceder a un mejor conocimiento de la información contenida en los datos mediante metodologías y procesos de recogida, análisis e interpretación. En los últimos años, la evolución del software estadístico ha significado un importante ahorro en tiempo, en precisión y en calidad de representación gráfica. Con 25 años de andadura internacional, el software estadístico Minitab es una herramienta compacta, versátil y de fácil manejo.

7. Análisis y Resultados

7.1.1. Ejecución del método Delphi

7.1.1.1. 3.3.1. Elección de Expertos

Para dar continuación a la aplicación del método Delphi y siguiendo cada paso definido en el procedimiento, se procede con la selección del grupo o panel de expertos. Para ello fue necesario evaluar dos criterios fundamentales, los cuales fueron concertados de la siguiente manera.

En el presente estudio, se tiene como criterio de selección de expertos “La experiencia” y/o formación de los ingenieros de la organización. Adicionalmente, se tiene en cuenta la experiencia suministrada por la asistencia técnica internacional, donde dos expertos en la industria de la batería nos brindan: información, Actualización, y nuevas tendencias en la industria de la batería. Además, se hace seguimiento a proyectos en curso enfocados a la competitividad e innovación, en busca de la mejora en la calidad, reducción de costos y aumento de la productividad.

Como segundo criterio se tiene la formación de los ingenieros que hacen parte de la organización, los cuales son ingenieros químicos e ingenieros industriales. Como es sabido, el funcionamiento general de una batería plomo-ácido debido a sus componentes internos es un proceso Electroquímico, donde por medio de un proceso químico se genera corriente eléctrica.

En este orden de ideas, el ingeniero químico y el ingeniero industrial, están en toda la capacidad de conocimiento sobre todos los conceptos químicos y eléctricos básicos que hacen parte en una batería.

Tabla 7.
Listado de Expertos Método Delphi.

Nombre	Profesión	Escalafón	Empresas/Industrias	Cargo actual
Rafael Ruiz	Químico-Físico	1.Senior consultant (4 años 7 meses) 2. Technology Consultant /S.G. Univ. Libre de Infantes(4 años 8 meses) 3.Consultant and S.General (7 años) 4.Director de Ingeniería y Asistencia Tecnológica (21 años 1 mes)	1.ITEMM Brasil & TD Spain 2.Moura (Brasil); TD Spain and U.L.I. 3.Moura (Brasil), Willard(Colombia); TD(España) y Univ.Libre de Infantes “Santo Tomás de Villanueva” 4.Exide Technologies	Consultor internacional
Carlos Martin	Ingeniería Técnica Industrial	1.Tecnico de ensayos eléctricos de baterías (5 años) 2. Técnico en el Departamento de Electrónica (16 años) 3. Técnico en el Departamento de Ingeniería (10 años) 4. Técnico de procesos y Asistencia Técnica (10 años)	1.S.E.A. Tudor 2.Exide Technologies	

Ricardo Herrera	Ingeniero químico	1.Supervisor de producción 2.Dictor de calidad, Ambiente e I+D 3.Director de producción	1. Baterías Willard S. A	Director de planta
Erix García	Ingeniero Industrial	1.Ingeniero practicante calidad y Ambiente 2.Ingeniero de calidad y Ambiente 3.Ingeniero de planeación de la producción	1. Baterías Willard S. A	Jefe de producción ensamble y acabado
Mauricio Bermúdez	Ingeniero Químico	1.Ingeniero de investigación y desarrollo 2. Jefe de investigación y desarrollo	1. Baterías Willard S. A	Jefe de producción de plomos y placas
Genubath Roa	Ingeniero Químico	1.Ingeniero de investigación y desarrollo 2.Coordinador de investigación y desarrollo	1. Baterías Willard S. A	Jefe de calidad, medio ambiente e I+D
Ányelo Barrios	Ingeniero Industrial	1.Ingeniero practicante Calidad y Ambiente 2.Ingeniero de Calidad y Ambiente 3.Ingeniero de producción Ensamble	1. Baterías Willard S. A	Coordinador de producción ensamble
Carlos Rodríguez	Ingeniero químico	1. Laboratorista de metalurgia	1. Baterías Willard S. A	Jefe de laboratorios

		2.Supervisor de laboratorio			
Víctor Castillo	Ingeniero Industrial	1.Ingeniero practicante Calidad y Ambiente 2. Ingeniero Asistente Calidad y Ambiente	1. Baterías Willard S. A	Ingeniero de Calidad y Ambiente	<i>Fuente: Elaboración propia.</i>
Sergio Arzuza	Ingeniero químico	1.Ingeniero practicante investigación y desarrollo 2.Ingeniero de investigación y desarrollo	1. Baterías Willard S. A	Coordinador Investigación y desarrollo	

7.1.1.2. Determinación de factores y criterios de selección:

La determinación de los factores y los criterios de selección fueron basados en los modos de efecto y fallo planteados en los AMEF cada proceso en la fabricación de la batería, donde se plantean unos tipos de causa que al final afectan o están relacionadas con las respuestas eléctricas de las baterías.

Formulación del problema.

¿Cuál es el factor que influye significativamente en los resultados de arranque a -18°C en baterías Plomo-Ácido?

- Adherencia del material activo en la rejilla
- Densidad de la pasta
- Área de soldadura intercelda
- Curación de la placa
- Calidad del óxido de plomo
- Calidad de la mezcla
- Peso del material activo de la placa
- Presencia de corto por separador roto
- Mal quemado de postes terminales
- Altura del elemento
- Sellado térmico

¿Cuál es el factor que influye significativamente en los resultados de capacidad de reserva en las baterías plomo-ácido?

- Calidad del óxido de plomo
- Calidad del plomo de la rejilla

- Calidad de la mezcla
- Calidad de la rejilla
- Peso del material activo de la placa
- Curación de las placas
- Adherencia del material activo en la rejilla
- Área de soldadura intercelda
- Peso del conector
- Porcentaje de peróxido en la placa positiva
- Temperatura del proceso de carga
- Amperios totales suministrados en el proceso de carga

Tabla 8.
Cuestionario Método Delphi.

Cuestionario DELPHI			
Pregunta 1	Área de soldadura intercelda	Quemado de postes terminados	Adherencia del material activo en la rejilla
1) Cual considera usted que es el principal factor que afecta el arranque a -18°C en baterías plomo-Ácido?	7	1	0
Pregunta 2	Peso del material activo en la placa	Porcentaje de peróxido en la placa	Adherencia del material activo en la rejilla
2) Cual es el factor que mayormente influye en los resultados de capacidad de reserva en baterías plomo-ácido	5	2	1

Fuente: Elaboración propia.

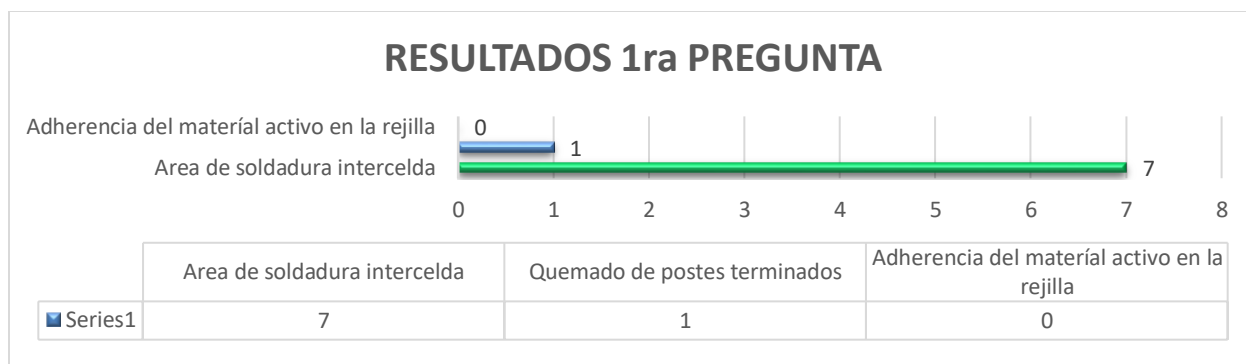


Figura 36. Resultados Método Delphi 1. Fuente: Elaboración propia.

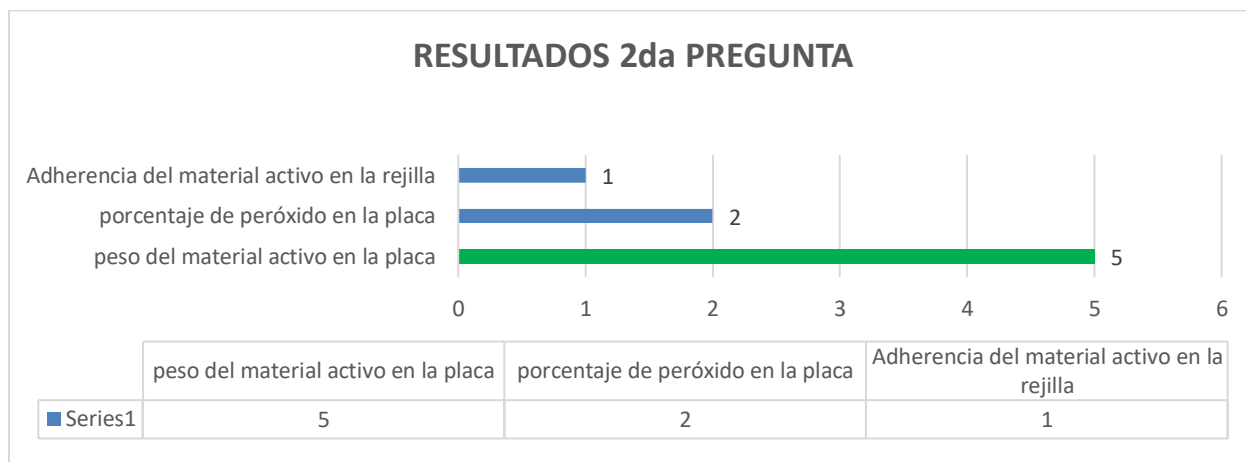


Figura 37. Resultados Método Delphi 2. Fuente: Elaboración propia.

7.2. Aplicación segunda ronda de método Delphi.

7.2.1. Formulación del problema.

¿Cuál es el factor que influye significativamente en los resultados de arranque a -18°C en baterías Plomo-Ácido?

- a) Adherencia del material activo en la rejilla
- b) Densidad de la pasta
- c) Área de soldadura intercelda
- d) Curación de la placa
- e) Calidad del óxido de plomo

- f) Calidad de la mezcla
- g) Peso del material activo de la placa
- h) Presencia de corto por separador roto
- i) Mal quemado de postes terminales
- j) Altura del elemento
- k) Sellado térmico

¿Cuál es el factor que influye significativamente en los resultados de capacidad de reserva en las baterías plomo-ácido?

- a) Calidad del óxido de plomo
- b) Calidad del plomo de la rejilla
- c) Calidad de la mezcla
- d) Calidad de la rejilla
- e) Peso del material activo de la placa
- f) Curación de las placas
- g) Adherencia del material activo en la rejilla
- h) Área de soldadura intercelda
- i) Peso del conector
- j) Porcentaje de peróxido en la placa positiva
- k) Temperatura del proceso de carga
- l) Amperios totales suministrados en el proceso de carga

Tabla 9.
Cuestionario Método Delphi 2da. Ronda.

Cuestionario Delphi segunda ronda		
Pregunta 1	Area de soldadura intercelda	Quemado de postes terminados
1) Cual considera usted que es el principal factor que afecta el arranque a -18°C en baterías plomo-Ácido?	9	1
Pregunta 2	peso del material activo en la placa	porcentaje de peróxido en la placa
2) Cual es el factor que mayormente influye en los resultados de capacidad de reserva en baterías plomo-ácido	8	2

Fuente: Elaboración propia.

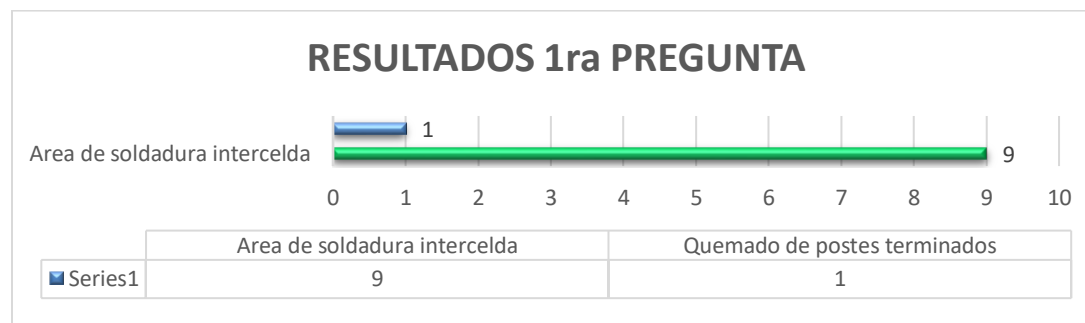


Figura 38. Resultados Preguntas Método Delphi 2da. Ronda 1. Fuente: Elaboración propia.

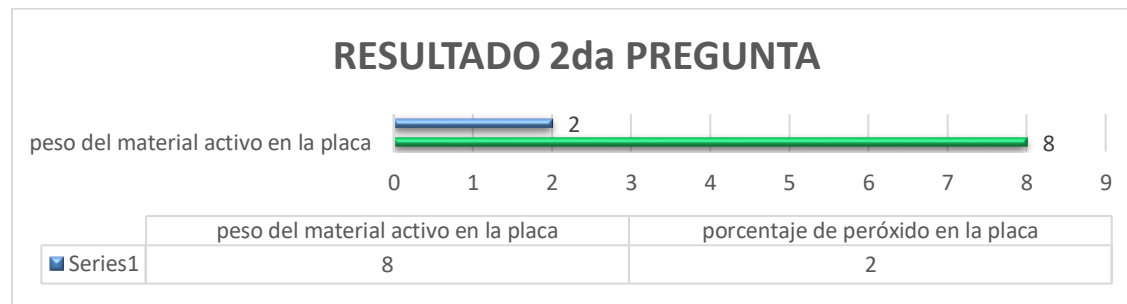


Figura 39. Resultados Preguntas Método Delphi 2da. Ronda 2. Fuente: Elaboración propia.

7.3. Recolección de datos, cálculos y resultados.

Los datos recolectados para este proyecto, fueron suministrados por el área de control de calidad. La toma de muestras de estas baterías se hace con base en un procedimiento interno definido por la organización y el método de ensayo corresponde a la Norma Técnica Colombia NTC-978, el cual fue explicado en el capítulo anterior. Toda la información es guardada y administrada por el área de Control de Calidad e Investigación y Desarrollo.

Para interpretar completamente toda esta información, se hace la aclaración de como salen los datos y que significa cada columna.

FECHA: Hace referencia al día en que se realizó la prueba. En este caso se tiene como ejemplo en la primera fila 13/01/2016, la fecha de la primera batería que se tomó ese año.

REFERENCIA: hace énfasis a la referencia o tipo de batería que se tomó en esa fecha para realizarle pruebas eléctricas.

RACK(+): Hace referencia al número consecutivo del rack positivo; entendiendo como rack positivo, un soporte en tipo de mesa donde se colocan las placas en este caso positivas acabadas de empastar para ser ingresadas a los cuartos de curado. Cada rack está identificado con la fecha de producción, y todas las características de control de calidad.

RACK(-): Hace referencia al número consecutivo del rack negativo; entendiendo como rack negativo, un soporte en tipo de mesa donde se colocan las placas en este caso positivas acabadas de empastar para ser ingresadas a los cuartos de curado. Cada rack está identificado con la fecha de producción, y todas las características de control de calidad.

CCA (AMPERIOS): Hace referencia al amperaje constante al cual se va a descargar una batería.

CCA(SEGUNDOS): Hace referencia al tiempo en el cual la batería al ser descargada a la corriente constante tuvo una caída de potencial hasta 7,2.

ARRANQUE -18°C: Hace referencia al porcentaje de cumplimiento de la prueba, la cual se calcula como: $CCA(SEGUNDOS)/30 \text{ SEGUNDOS}$.

% SOLDADURA: Hace referencia al porcentaje de soldadura intercelda que tuvo la batería en la inspección realizada.

Resultados para Arranque en frío (-18°C).

Ver datos en el Anexo 1 del presente documento.

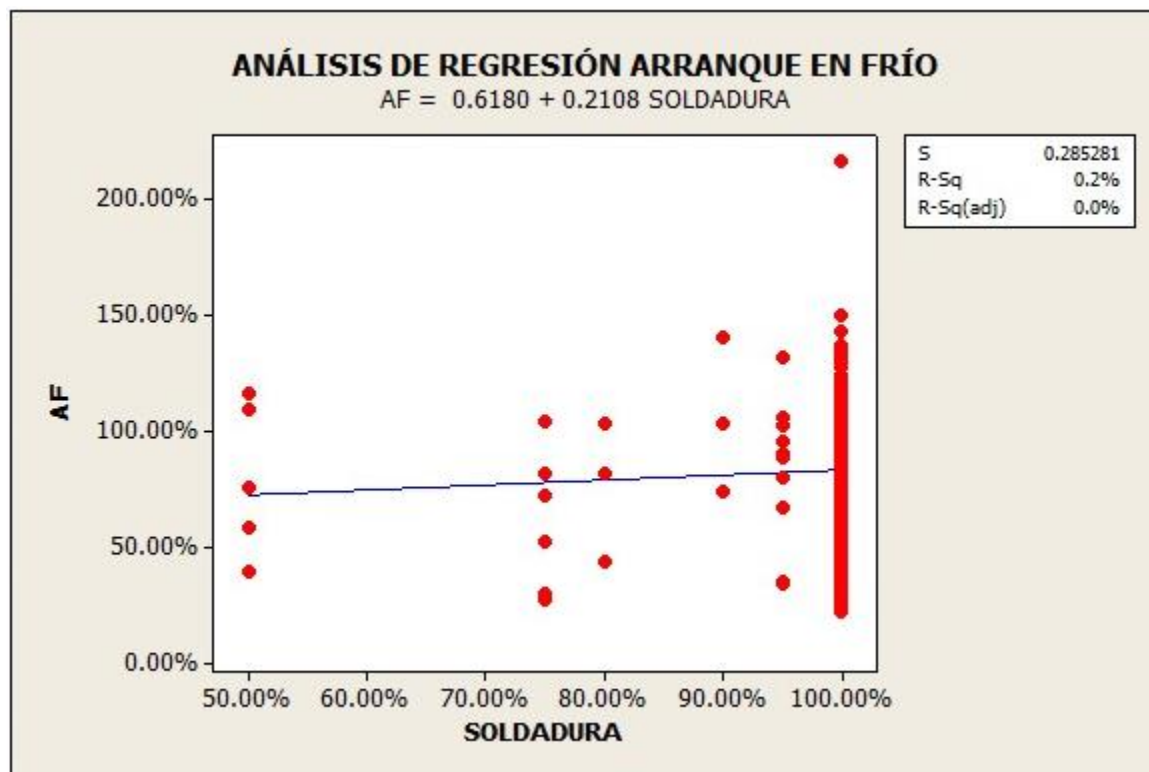


Figura 40. Análisis de regresión lineal para el arranque en frío. Fuente: Elaboración propia.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	1	0,0766	0,07657	0,94	0,333
PORCENTAJE SOLDADURA	1	0,0766	0,07657	0,94	0,333
Error	381	31,0078	0,08139		
Falta de ajuste	4	0,3811	0,09527	1,17	0,322
Error puro	377	30,6267	0,08124		
Total	382	31,0843			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,285281	0,25%	0,00%	0,00%

Coefficientes

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	0,618	0,215	2,88	0,004	
PORCENTAJE SOLDADURA	0,211	0,217	0,97	0,333	1,00

Ecuación de regresión

$$\text{PORCENTAJE DE CUMPLIMIENTO} = 0,618 + 0,211 \text{ PORCENTAJE SOLDADURA}$$

Figura 41. Resultados del análisis de regresión lineal. Fuente: Elaboración propia.

En la ecuación de regresión, el valor de $b = 0.211$ indica el incremento promedio del resultado del arranque en frío por cada milímetro de área en la soldadura en la batería. Se utiliza la ecuación de regresión para estimar o predecir los valores de la variable de respuesta “Porcentaje de Cumplimiento” (Y).

Análisis de resultados prueba de arranque en frío: No existe correlación entre el porcentaje de soldadura intercelda y la capacidad de arranque frío en las baterías plomo ácido, ya que el R-cuadrado es 0,25%.

En los datos se puede observar que, hay puntos de soldadura intercelda muy buenos (100%) y el resultado de la prueba es muy bajo.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se puede afirmar que, los resultados de la prueba de arranque en frío no son influenciados significativamente por la calidad de la soldadura intercelda. Como justificación de lo anterior, y teniendo en cuenta la ley de Ohm:

$$R(\Omega) = \frac{L(m)}{S(m^2)} * \rho\left(\frac{\Omega * m^2}{m}\right)$$

En donde

R = Resistencia

L = largo o longitud del cable o conductor

S = sección o grosor del cable o conductor.

ρ = constante conocida que depende del material, llamada resistividad.

A continuación, se detallan los valores para la constante ρ según el tipo de material conductor:

Material	Resistividad ($\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$) a 20° C
Aluminio	0,028
Carbón	40,0
Cobre	0,0172
Constatan	0,489
Nicromo	1,5
Plata	0,0159
Platino	0,111
Plomo	0,205
Tungsteno	0,0549

Figura 42. Resistividad de los materiales. Fuente: Elaboración propia.

Se tiene entonces que:

$$\Delta V \text{ BATERÍA} = I * R$$

La prueba de arranque en frío está sujeta a condiciones controladas de descarga, es decir, la Intensidad de corriente de descarga es constante para cada tipo de batería. La resistencia en términos de material es constante debido a que las baterías se fabrican con el mismo material (Pb). Para que una batería falle en la prueba, debe haber otros factores que influyan en el aumento de la resistencia interna y provocan una caída de potencial de tal forma que la prueba termine en menos tiempo.

$$R(\Omega) = \frac{0,0035m}{12(m^2)} * \rho \left(\frac{0,205 \Omega * m^2}{m} \right) = 0,000012\Omega \times 5 = 0,00006 \Omega$$

La resistencia en cada punto es de 0,000012 Ω , como se tienen 5 puntos de soldadura en la batería, en total se tendría una resistencia de 0,00006 lo cual es muy bajo y esto se da porque la longitud del conductor es pequeña y el área de flujo es mucho más grande, lo cual disminuye significativamente la resistencia en estos puntos.

Resultados para Capacidad de Reserva

Ver Datos en el Anexo 2 del presente documento.

Cálculos Estadísticos a partir de los datos

1. Análisis de Regresión

Análisis de resultados de capacidad de reserva.

Inicialmente se plantea un análisis de regresión para determinar la dispersión e identificar los valores atípicos que puedan influir en el estudio.

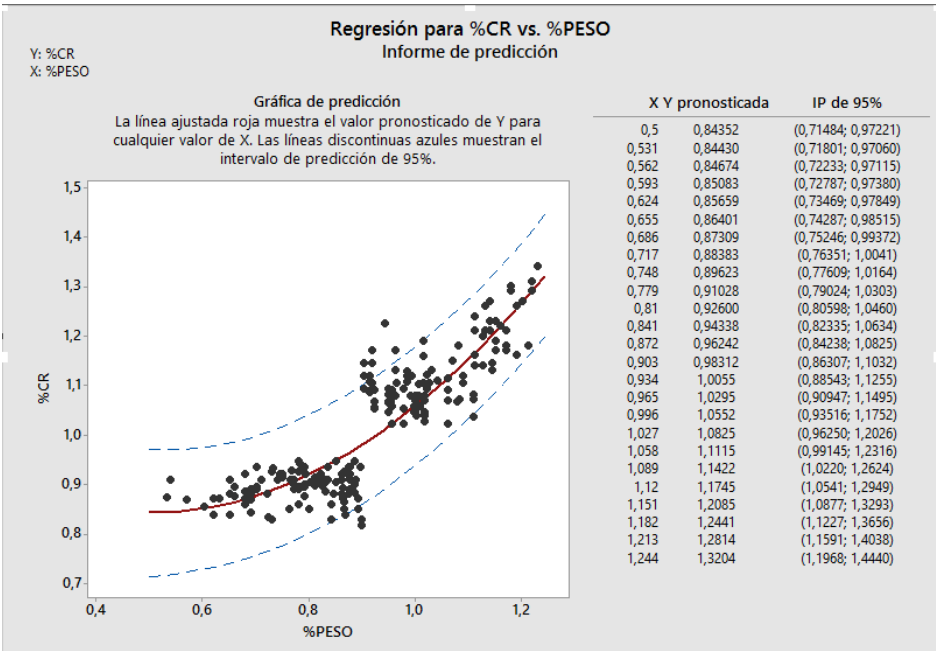


Figura 43. Informe de predicción de la regresión. Fuente: Elaboración propia.

Los residuos grandes se marcan en cuadros rojos, los cuales indican que pueden ser datos atípicos que afectan el análisis de regresión. Posteriormente se hace la regresión con los valores ajustados.

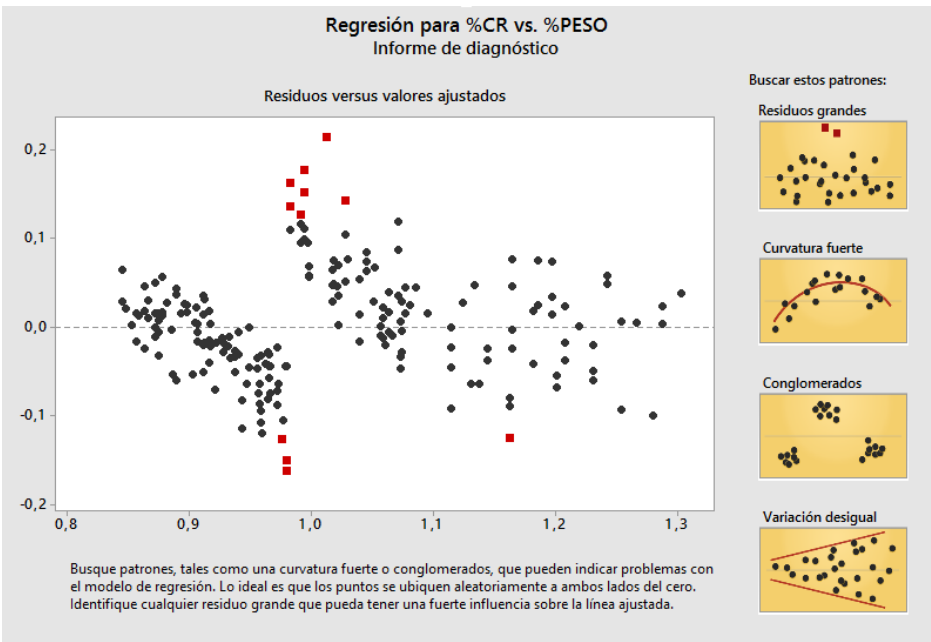


Figura 44. Informe de diagnóstico de la regresión. Fuente: Elaboración propia.

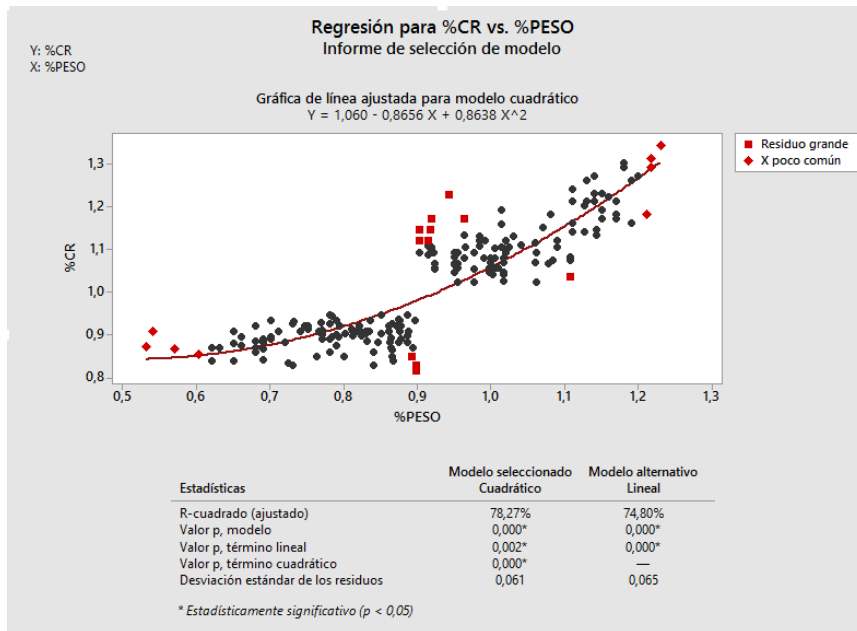


Figura 45. Informe de selección de modelo de la regresión. Fuente: Elaboración propia.

La ecuación ajustada para el modelo cuadrático es: $Y = 1,060 - 0,8656 X + 0,8638 X^2$

Con un R cuadrado del 78,27%, se puede predecir estadísticamente que, el peso de la placa influye significativamente en el resultado final de la prueba de capacidad de reserva.

2. Análisis de resultados.

De acuerdo al significativo índice de correlación entre el peso del material activo en la placa y el resultado de capacidad de reserva, se puede concluir que, estadísticamente el factor que mayor afecta el resultado de capacidad de reserva en las baterías plomo-ácido, es el peso del material activo en las placas.

Adicionalmente, se planteó una prueba de hipótesis para medias entre dos variables y el valor P es menor al alfa, por tanto, se rechaza la hipótesis nula, es decir que, si existe relación entre ambas variables.

Análisis de causas y plan de intervención

El Diagrama Causa – Efecto originado a partir de este análisis es el siguiente:



Posterior al Análisis, se establecen Acciones de Intervención orientadas a disminuir la probabilidad de ocurrencia de dichas causas, y con el fin de mitigar las causas de variación que tienen un impacto o una incidencia en los resultados de las pruebas analizadas:

MEDIDAS PREVENTIVAS Y/O CORRECTIVAS		
ACCIONES PROPUESTAS	RESPONSABLE	P/C
Realizar Seguimiento al Proceso de Empaste para validar la operación de todo el herramental	Producción / Calidad	
Realizar seguimiento estricto a las curvas de curación	Producción / Calidad	
Realizar seguimiento al proceso de carga de las baterías	Producción	
Realizar inspección de mantenimiento a las empastadoras y establecer planes de mejora	Mantenimiento	
Exigir la verificación de los pesos de placas por parte de los operadores	Producción	
Realizar re-entrenamiento a los operadores en todas las variables importantes a tener en cuenta para garantizar una correcta operación y un producto dentro de especificaciones	Producción / Talento Humano	

Figura 47. Acciones Preventivas y/o Correctivas Propuestas. Fuente: Elaboración propia.

Con el fin de establecer de qué manera las acciones planteadas contribuyen al mejoramiento y control del tema en estudio, a continuación se explica cada una de ellas:

- Seguimiento al Proceso de Empaste: con este se pretende garantizar para cada turno que la puesta a punto de la máquina se cumple en todos sus ítems y que previamente al inicio del proceso se ha garantizado que todos los parámetros de control se encuentran dentro de especificaciones. Esta actividad de igual manera evalúa que el estado de cada herramental para cada referencia es óptimo y de esta manera no aportará mayor variación al peso de las placas.
- Seguimiento Estricto a las Curvas de Curación: Las curvas de curación son el resultado de la reacción química que existe dentro de las Cámaras por efecto del aporte del calor de cada una de las placas. El tener una buena curva de curación indica que a cada Cámara se

ha introducido la cantidad completa y correcta de material para que la reacción se lleve a cabo en la forma correspondiente.

- Inspecciones de Mantenimiento: En este punto se hace necesario garantizar el correcto funcionamiento de la máquina en todos sus componentes. Para ellos se debe gestionar que todos los repuestos de uso común se encuentran en inventario y adicionalmente cada vez que haya una parada se inspeccionen las partes mecánicas y eléctricas con el fin de establecer medidas preventivas para evitar la presencia de causas que originen variación en el producto.
- Control de Pesos por parte de Operadores: Esta actividad debe ser sin duda alguna obligatoria por parte del personal operativo que se encuentra fabricando el producto. En caso de originarse variación, ante un muestreo y verificación constante de los pesos, las medidas podrán tomarse casi que inmediatamente y así encausar el proceso hacia el control del cumplimiento de las especificaciones.
- Re-Entrenamiento de Operadores: Esta actividad debe ser sistémica y permanente. Es decir, mantener en constante entrenamiento y actualización a los operadores, los empodera del proceso y cada vez más los responsabiliza de la ejecución y control de todas las variables que intervienen en el.

Se deja a discreción de la organización la toma de estas medidas y su posterior evaluación de la efectividad, con el fin de evaluar el impacto generado a partir de estas y las mejoras sustanciales de los resultados que pueden obtenerse a partir de un seguimiento estricto y de un nuevo análisis estadístico para corroborar dichos resultados.

Conclusiones

Las herramientas tales como el Método Deplhi, el Minitab y los análisis estadísticos efectuados a partir de ellas, se constituyen en instrumentos poderosos para la evaluación de diferentes problemáticas industriales, que se ven afectadas por variaciones naturales y propias de los procesos de fabricación.

Los resultados obtenidos a partir del desarrollo del presente proyecto, han permitido establecer a partir del uso de estas herramientas, la correlación y afectación existente entre una variable de proceso y de control del mismo en los resultados de una especificación eléctrica que se constituye como crítica para el desempeño y la vida útil del producto.

En este sentido y propendiendo por el estricto cumplimiento de los controles establecidos a lo largo del proceso de fabricación, se puede lograr disminuir y mitigar el impacto causado por alguna variable cuyo comportamiento se vea afectado por cualquier tipo de cambio en el proceso de fabricación. En este orden de ideas, se pudieron identificar los principales factores que de no tener un comportamiento controlado y analizado, influyen en los resultados eléctricos esperados de las baterías y de esta manera establecer un Plan de Acción enfocado a disminuir la variabilidad presentada en estos factores y así poder tener unos resultados eléctricos estables y que cumplan con las especificaciones definidas.

Referencias

Adif. Una estación para ponerse las pilas. Málaga, España : adif, 2012.

Álvarez, c. Normatividad sobre vehículos eléctricos. [Http://www.cidet.org.co/](http://www.cidet.org.co/).

[en línea]http://www.cidet.org.co/sites/default/files/documentos/uiet/normatividad_sobre_vehiculos_electricos.pdf.

André, f. Castro, luis & cerdà, emilio. Las energías renovables en el ámbito internacional.

[Www.revistasice.com](http://www.revistasice.com). [en línea] 2012.

[Http://www.revistasice.com/cache/pdf/cice_83____810091ecbb9ffcf682fdfe12c77fab6d.pdf](http://www.revistasice.com/cache/pdf/cice_83____810091ecbb9ffcf682fdfe12c77fab6d.pdf)
f.

Asian electric vehicle society. Charging and discharging method of lead acid batteries based on internal voltage control. [Https://www.jstage.jst.go.jp/article/jaev/3/1/3_1_733/_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jaev/3/1/3_1_733/_pdf).
(2005)

Aviram, s. Uso de baterías en Costa Rica. [Http://eie.ucr.ac.cr](http://eie.ucr.ac.cr). [en línea]

http://eie.ucr.ac.cr/uploads/file/proybach/pb07_ii/pb0706t.pdf.

Besterfield, d. H. "total quality management", 3era. Edición, editorial prentice hall ptr, 2003.

Cantú d., h. (2009). Desarrollo de una cultura de la calidad. México: editorial mc graw hill.
Undécima edición. Pág. 62.

Chen, l. And liwei, v. (2008). Study on efficiency

Crowe, p. Quick charge battery developments. The kneeslider. [en línea] 24 de marzo de 2011.
[Http://thekneeslider.com/archives/2011/03/24/quick-charge-battery-developments/](http://thekneeslider.com/archives/2011/03/24/quick-charge-battery-developments/).

D'alkaine, c.v., mengarda, p., impinnisi, p.r., "discharge mechanisms and electrochemical impedance spectroscopy measurements of single negative and positive lead-acid battery plates", journal of power sources, v.191, pp. 29 -35, dic 2009.

Deming e. (2010). Competitividad es calidad total. México: editorial mc graw hill. Sexta edición.

Pág. 58

Einstein, a., b. Podolsky, and n. Rosen, 1935, “can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete?”, phys. Rev. 47, 777-780.

Emery, d. R., & finnerty, j. D. (2011). Fundamentos de administración financiera. México.: editorial pearson educación prentice hall. Cuarta edición.

Endesa. Movilidad eléctrica. Una apuesta de futuro para el país. [Www.energiamayorista.com.co](http://www.energiamayorista.com.co). [en línea] 2 de noviembre de 2011.

[Http://www.energiamayorista.com.co/memorias2011/miercoles/movilidad_electrica_endesa.pdf](http://www.energiamayorista.com.co/memorias2011/miercoles/movilidad_electrica_endesa.pdf).

Energy management agency. Guía del vehículo eléctrico.

[Www.cleanvehicle.eu.\[enlínea\]2011.http://www.cleanvehicle.eu/fileadmin/downloads/spain/guida%20del%20vehiculo%20electrico.pdf](http://www.cleanvehicle.eu/fileadmin/downloads/spain/guida%20del%20vehiculo%20electrico.pdf).

Epec. La historia de la electricidad. Alejandro volta, inventor de la pila. Buenos aires : epec.

Fea, u. (2012). Creación y desarrollo empresarial: competitividad es calidad total. Buenos aires – argentina: editorial alfaomega. Sexta edición.

Fundación de la energía de la comunidad de madrid; energy management agency. Guía del vehículo eléctrico. [Www.cleanvehicle.eu. \[en línea\]2011.http://www.cleanvehicle.eu/fileadmin/downloads/spain/guida%20del%20vehiculo%20electrico.pdf](http://www.cleanvehicle.eu/fileadmin/downloads/spain/guida%20del%20vehiculo%20electrico.pdf).

Gomez, b., & luz, j. (1997). Diseño del sistema eléctrico para una fábrica de baterías plomo-ácido.

Gonher autopartes. Manual técnico de acumuladores. Www.pro-one.com.mx. [en línea] 2010.

[Http://images/descargables/tips/bat_causas.pdf](http://images/descargables/tips/bat_causas.pdf).

González, e., & santos, f. (2012). Prototipo de un sistema supervisor inalámbrico predictivo de la condición del acumulador arranque y sistema de carga de vehículos automotres (doctoral dissertation).

Google trend. Google trend battery. Google.com. [en línea] 26 de octubre de 2013.

[Http://www.google.com/trends/explore?q=battery#q=battery&cmpt=q](http://www.google.com/trends/explore?q=battery#q=battery&cmpt=q).

Gutiérrez h. (2009). Calidad y competitividad. México d. F.: editorial mc graw hill. Tercera edición.

Guzmán, a. (2005). Modelaje y simulación de una batería de plomo ácido mediante fuentes dependientes de voltaje-corriente y bloques de funciones aritméticas.

Han, seung-hun, & otros, y otros. Batería con electrodo positivo de litio.

Googlepatentes.[enlínea]2012.<https://www.google.com/patents/us20130177812?dq=battery&hl=es419&sa=x&ei=m0ppuofdmotu8qswjidgdq&ved=0cimbeogbmag>.

Hart, d. (2010). Recursos de poder. Ohio: editorial mc graw hill. Tercera edición.

Heizer, j. & render, b. (2009). Dirección de la producción, decisiones tácticas. México d. F.: editorial prentice hall. Sexta edición.

Híbridos eléctricos. La tecnología híbrida paralela de bosch. Www.hibridoselectricos.com. [en línea] 23 de octubre de 2012. [Http://www.hibridosyelectricos.com/articulo/tecnologia/la-tecnologia-hibrida-paralela-de-bosch/20100804232712001130.html](http://www.hibridosyelectricos.com/articulo/tecnologia/la-tecnologia-hibrida-paralela-de-bosch/20100804232712001130.html). 70

Hongyu chen. Research on valve-regulated lead/acid batteries for automobiles. (1996)

Horst, bauer. Sistemas eléctricos y electrónicos para automóviles - baterías bosch. 2000. 69

<http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/2157>

Ilzsg, reporte déficit de plomo y zinc refinados en el mundo. (2018)

<https://www.energiminas.com/reporte-del-ilzsg-hay-deficit-de-plomo-y-zinc-refinados-en-el-mundo/>

Leon, d., quinga, edwin, implementación de herramientas “qsb- quality systems basics” en el proceso de producción de emblemas automotrices de la empresa texticom cía. Ltda., tesis espe maestría en gestión de la calidad y productividad, sangolquí, diciembre del 2013.

Leonelli, a. Baterías y pilas. Wwww.tvgroup.com.ar. [en línea] 2011.

<Http://www.tvgroup.com.ar/pdf/10.pdf>. 72

Levine, d. K. (2010). Estadística para administración. México: editorial prentice hall. Cuarta edición.

Linstone & turoff técnica delphi y se desarrolló en el seno de la rand corporation. Existen varias forma de aplicación del método delphi (2002)

Marder, felipe. Cargador de baterías de pb de corriente modulada. (2004)

Medellin celular. Medellin celular. [en línea]. <Http://www.unicrom.com>.

Ministerio de medio ambiente españa. Diagnóstico de prevención de la contaminación en un fabricante de baterías para coches. <Http://www.istas.net/>. [en línea] 2012.

Http://www.istas.net/risctox/gestion/estructuras/_3497.pdf.

Niebel, o. (2009). Manual del ingeniero industrial. México: organización internacional del trabajo (oit). Vigésima segunda edición.

Norma técnica colombia ntc 978-1:2011 baterías de arranque plomo ácido. Requisitos y métodos de ensayo. Parte 1: automóviles.

Prengaman d., "challenges from corrosion-resistant grid alloys in lead acid battery manufacturing", journal of power sources, v. 95, n.1-2, pp. 1-9. 2001.

Ramírez, d. Curioso estudio sobre las baterías en los coches ecológicos. [en línea] septiembre de 2011. [Http://motorfull.com/2011/09/curioso-estudio-sobre-las-baterias-en-los-coches-ecologicos](http://motorfull.com/2011/09/curioso-estudio-sobre-las-baterias-en-los-coches-ecologicos).

Renobat. Renobat. Artículos de baterías - principales tipos de baterías en el mercado.[enlínea]2010.http://www.expertosenbaterias.com/articles/articulos_de_baterias-158/principales_tipos_de_baterias_en_el_mercado-33.htm.

Rodríguez l., karlann. Análisis de desempeño entre una batería agm y plomo acido. 2014.

Rodríguez, e.. Tecnologías para el almacenamiento de energía. Aplicaciones industriales de distribución. Sevilla : universidad de sevilla, 2012.

Ruetchi, p., "aging mechanisms and service life of lead-acid batteries", journal of power sources, v. 127, n. 1-2, pp. 2-10, sep. 2004

Russell, k., haresh, vineet & straubel, jeffrey. Sistema eficiente de doble fuente para la batería de un vehículo eléctrico. Google patentes. [en línea] 2012.
<https://www.google.com/patents/us8543270?dq=battery&hl=en&sa=x&ei=tdntuqbwpijkkaetjyhodw&ved=0cee6aewa>.

Sae j 537:2016 “storage batteries”

Sae j. 240:2007 “life test for automotive storage batteries”

Unesa. Electricidad. Conversión de la electricidad en energía química: electrólisis. [en línea] 2010. [Http://www.unesa.net/](http://www.unesa.net/)

Unicrom, electrónica. Unicrom. [en línea] <http://www.unicrom.com>.

Universidad técnica federico santa maría. Tecnología de las baterías.

Www2.elo.utfsm.cl.[en línea]2010.<http://www2.elo.utfsm.cl/~elo383/apuntes/presentacionbaterias.pdf>.

Velandia, e. Energía eléctrica. Alternativa energética para un transporte urbano sustentable en colombia. <Http://www.andesco.org.co/>. [en línea] marzo de 2010.http://www.andesco.org.co/site/assets/media/camara/energia/documentos/codensa_traccion_electrica_andesco.pdf.

Viera, j. Carga rápida de baterías de ni-cd y ni-mh de media y gran capacidad. Análisis, síntesis y comparación de nuevos métodos. (2003).

Visco, steven j., & otros, & otros. Batería de litio azufre con ánodo herméticamente sellado.

Google patentes. [en línea] 2012.

<Https://www.google.com/patents/us8445136?dq=battery&hl=en&sa=x&ei=tdntuqbwpijkkaetjyhodw&ved=0chiq6aewca>.

Anexos

Anexo 1

Resultados para Arranque en frío (-18°C).

ENSAYOS ELECTRICOS 2016-2017							
FECHA	REFERENCIA	RACK(+)	RACK(-)	CCA (amperios)	CCA (segundos)	ARRANQUE -18°C	% SOLDADURA
13/01/2016	31HT	3016	3348	977	7,8	26,00%	100%
19/01/2016	31HT	3016	3348	977	14,2	47,33%	100%
21/01/2016	31HT	3016	3348	977	17,2	57,33%	100%
8/01/2016	NS60I	8636	7478	462	16,7	55,67%	100%
14/01/2016	NS60I	8636	7478	462	28,5	95,00%	100%
16/01/2016	NS60I	8636	7478	462	26,1	87,00%	100%
8/01/2016	55D	8521	7537	523	34,8	116,00%	100%
15/01/2016	24BI	9083	7907	497	25,4	84,67%	100%
21/01/2016	24BI	9083	7907	497	31,4	104,67%	100%
21/01/2016	34I	9155	8045	646	28,1	93,67%	100%
26/01/2016	34I	9155	8045	646	34,3	114,33%	100%
21/01/2016	31H-P	O158	OO40	862	11,1	37,00%	100%
26/01/2016	31H- P	O159	OO41	863	19,9	66,33%	100%
28/01/2016	31H- P	O160	OO42	864	18,5	61,67%	100%
28/01/2016	35	7330	7691	523	33,7	112,33%	100%
5/02/2016	65I	O337	O353	680	20,2	67,33%	100%
9/02/2016	65I	O337	O353	681	40	133,33%	100%
13/02/2016	34I	O215	O145	646	24	80,00%	100%
15/02/2016	34I	O215	O145	647	30,8	102,67%	100%
13/02/2016	NS40I	8796	7567	370	23	76,67%	100%
17/02/2016	NS40I	8796	7567	370	21,8	72,67%	100%
19/02/2016	NS40I	8796	7567	370	26,8	89,33%	100%
17/02/2016	31H	O741	O748	690	7,5	25,00%	100%

23/02/2016	31H	O741	O748	691	16,4	54,67%	100%
26/02/2016	31H	O741	O748	692	11,1	37,00%	100%
17/02/2016	48I	O657	O548	546	29,1	97,00%	100%
24/02/2016	24BD	1126	1043	497	31,1	103,67%	100%
24/02/2016	35	O957	O724	523	41,1	137,00%	100%
17/02/2016	24BD	8159	7251	298	21,6	72,00%	100%
19/02/2016	24BD	8159	7251	298	15,4	51,33%	100%
21/02/2016	24BD	8159	7251	298	35,7	119,00%	100%
3/02/2016	48D	1128	1019	497	11	36,67%	100%
7/02/2016	48D	1128	1019	497	30	100,00%	100%
3/02/2016	34D	O740	O590	646	22,2	74,00%	100%
7/02/2016	34D	O740	O590	647	31,1	103,67%	100%
9/03/2016	24AD	1495	O712	575	20,6	68,67%	100%
13/03/2016	24AD	1496	O713	576	29,1	97,00%	100%
15/03/2016	24AD	1497	O714	577	35,5	118,33%	100%
17/03/2016	24BD	1613	1341	497	32,7	109,00%	100%
23/03/2016	48D	1504	1242	497	21,8	72,67%	100%
28/03/2016	48D	1504	1242	497	32,8	109,33%	100%
23/03/2016	NS40IPD	O473	O776	370	22,2	74,00%	100%
30/03/2016	NS40IPD	O473	O776	371	28,3	94,33%	100%
1/04/2016	NS40IPD	O473	O776	372	19,7	65,67%	100%
30/03/2016	55DD	1954	1594	523	36,1	120,33%	100%
30/03/2016	36D	1833	1661	348	12,9	43,00%	100%
3/04/2016	36D	1833	1661	348	28,5	95,00%	100%
5/04/2016	36D	1833	1661	348	31,2	104,00%	75%
6/03/2016	8DT	8961	8495	1202	22,2	74,00%	100%
9/03/2016	8DT	8961	8495	1202	11,2	37,33%	100%
11/03/2016	8DT	8961	8495	1202	26,6	88,67%	100%
26/03/2016	24BD	1821	1654	298	25,5	85,00%	100%
28/03/2016	24BD	1821	1654	298	27,9	93,00%	100%
30/03/2016	24BD	1821	1654	298	35,1	117,00%	100%

6/04/2016	55D	1955	1598	523	31,4	104,67%	100%
12/04/2016	34I	2171	1911	546	25	83,33%	100%
14/04/2016	34I	2171	1911	546	28	93,33%	100%
16/04/2016	34I	2171	1911	546	28,2	94,00%	100%
14/04/2016	24BI	2510	2197	447	26,5	88,33%	100%
16/04/2016	24BI	2510	2197	447	30,4	101,33%	100%
19/04/2016	24BD	2494	2269	298	26,8	89,33%	100%
22/04/2016	24BD	2494	2269	298	33,5	111,67%	100%
22/04/2016	24BI	2017	1637	298	29,6	98,67%	100%
22/04/2016	24BD	2166	1848	298	13	43,33%	100%
24/04/2016	24BD	2166	1848	298	24,2	80,67%	100%
26/04/2016	24BD	2166	1848	298	24,5	81,67%	100%
7/04/2016	27AI	2194	1790	680	8,8	29,33%	75%
9/04/2016	27AI	2194	1790	680	17,8	59,33%	100%
11/04/2016	27AI	2194	1790	680	19,2	64,00%	100%
7/04/2016	48I	1706	1484	546	20,1	67,00%	100%
9/04/2016	48I	1706	1484	546	28,3	94,33%	100%
11/04/2016	48I	1706	1484	546	33,4	111,33%	100%
13/04/2016	24BI	2374	2118	447	36,8	122,67%	100%
13/04/2016	65I	2190	1815	680	22,1	73,67%	100%
15/04/2016	65I	2190	1815	680	34	113,33%	100%
20/04/2016	NS60D	2244	1982	462	29	96,67%	100%
20/04/2016	24AD	2219	1896	575	29,8	99,33%	100%
27/04/2016	55DD	1961	1600	523	34,1	113,67%	100%
27/04/2016	24AD	O522	1096	627	33,5	111,67%	100%
5/05/2016	35D	3014	O630	523	22,9	76,33%	100%
7/05/2016	35D	3015	O631	524	34	113,33%	100%
5/05/2016	24BI	2921	2521	497	25,1	83,67%	100%
10/05/2016	24BI	2921	2521	497	37,1	123,67%	100%
5/05/2016	27AI	3092	O334	575	26,8	89,33%	100%
10/05/2016	27AI	3093	O335	576	28,5	95,00%	100%

12/05/2016	27AI	3094	O336	577	33,6	112,00%	100%
11/05/2016	4DT	3142	2558	993	14,3	47,67%	100%
17/05/2016	4DT	3142	2558	993	15,6	52,00%	75%
19/05/2016	4DT	3142	2558	993	23,6	78,67%	100%
11/05/2016	8DT	2747	1298	1202	8,4	28,00%	100%
17/05/2016	8DT	2747	1298	1202	12,8	42,67%	100%
19/05/2016	8DT	2747	1298	1202	17,1	57,00%	100%
19/05/2016	35	3011	2338	523	18,7	62,33%	100%
21/05/2016					32,5	108,33%	100%
19/05/2016					7,9	26,33%	100%
21/05/2016	34I	3316	2867	546	22,8	76,00%	100%
23/05/2016	27AI	8151	7378	732	32,0	106,67%	100%
25/05/2016					7,5	25,00%	100%
30/05/2016					27,8	92,67%	100%
3/06/2016	48I	3573	3032	497	27,9	93,00%	100%
25/05/2016					29,5	98,33%	100%
3/06/2016					23	76,67%	100%
7/06/2016	24AD	3970	3278	575	31,2	104,00%	100%
3/06/2016	31HP	3879	3133	862	13,6	45,33%	100%
7/06/2016					22,6	75,33%	100%
9/06/2016					24,4	81,33%	100%
8/06/2016	24BI	3534	3061	546	25,8	86,00%	100%
13/06/2016					30,9	103,00%	100%
8/06/2016					29,6	98,67%	100%
15/06/2016	27I	4153	3420	680	9,7	32,33%	100%
20/06/2016					18,8	62,67%	100%
22/06/2016					27,5	91,67%	100%
15/06/2016	36D	3849	3370	397	30,8	102,67%	100%
22/06/2016	24BIST-700	3645	3441	497	22,6	75,33%	100%
27/06/2016					30,7	102,33%	100%
22/06/2016	24BD	4081	3483	497	31,7	105,67%	100%

28/06/2016					12,7	42,33%	100%
2/07/2016	NS40D	4381	3815	370	23,8	79,33%	100%
4/07/2016					21,6	72,00%	100%
28/06/2016					15,4	51,33%	100%
2/07/2016	48I	4613	3926	497	27,5	91,67%	100%
4/07/2016					29,0	96,67%	100%
1/07/2016					11,7	39,00%	100%
3/07/2016					7,4	24,67%	100%
3/07/2016					10,4	34,67%	100%
5/07/2016					9,8	32,67%	100%
3/07/2016					15,7	52,33%	100%
5/07/2016					11,6	38,67%	100%
7/07/2016	24BD	4613	4037	397	21,1	70,33%	100%
10/07/2016					30,1	100,33%	100%
5/07/2016					15,3	51,00%	100%
7/07/2016	24BD	2899	2490	397	27,7	92,33%	100%
10/07/2016					21,7	72,33%	75%
11/07/2016					9,2	30,67%	100%
13/07/2016					8,9	29,67%	100%
16/07/2016					11	36,67%	100%
18/07/2016	48DST	4228	3503	546	23,7	79,00%	100%
21/07/2016					22,6	75,33%	100%
16/07/2016	24BI	4996	4387	348	28,9	96,33%	100%
8/07/2016					14	46,67%	100%
10/07/2016	48IST	4456	3884	546	21,1	70,33%	100%
12/07/2016					25,6	85,33%	100%
8/07/2016					10,3	34,33%	100%
10/07/2016	48D	4873	4244	546	25	83,33%	100%
12/07/2016					29,6	98,67%	100%
13/07/2016	65I	4341	3734	680	30,1	100,33%	100%
13/07/2016	24BD	6156	5115	497	13,3	44,33%	100%

18/07/2016					22	73,33%	100%
21/07/2016					29,9	99,67%	100%
12/07/2016	NS40DPD	5087	4363	370	15,9	53,00%	100%
27/07/2016	36D	4447	3938	348	28,5	95,00%	100%
27/07/2016	55D	4448	3761	523	40,4	134,67%	100%
3/08/2016					10,7	35,67%	100%
7/08/2016	24BD	4081	3486	497	28,7	95,67%	100%
9/08/2016					34,1	113,67%	100%
3/08/2016					24,5	81,67%	100%
8/08/2016	NS40DPD	5495	4787	370	32,4	108,00%	100%
17/08/2016					7,1	23,67%	100%
10/08/2016					17,5	58,33%	100%
14/08/2016	42D	5849	5021	348	24,4	81,33%	80%
17/08/2016					24,5	81,67%	75%
15/08/2016					17,4	58,00%	50%
18/08/2016	34I	5773	4886	646	23	76,67%	100%
24/08/2016					31,6	105,33%	100%
23/08/2016					18,1	60,33%	100%
26/08/2016	24BD	5408	8471	2298	23,6	78,67%	100%
30/08/2016					25,7	85,67%	100%
23/08/2016					21	70,00%	100%
24/08/2016	22NFDS	5907	4576	370	18,8	62,67%	100%
26/08/2016					13,3	44,33%	100%
30/08/2016	27I	5447	4445	418	64,7	215,67%	100%
30/08/2016					16,9	56,33%	100%
3/09/2016	4DB	5802	5887	872	28	93,33%	100%
5/09/2016					24,5	81,67%	100%
9/09/2016					8,9	29,67%	100%
13/09/2016	34I	O764	O728	646	16,7	55,67%	100%
15/09/2016					25,2	84,00%	100%
15/09/2016					14,7	49,00%	100%

17/09/2016					16,6	55,33%	100%
9/09/2016					7,4	24,67%	100%
13/09/2016	27ADS	6650	5534	680	16,1	53,67%	100%
15/09/2016					19,1	63,67%	100%
13/09/2016					8,8	29,33%	100%
18/09/2016	NS60D	6108	7473	462	20,2	67,33%	100%
20/09/2016					20,7	69,00%	100%
13/09/2016					15,3	51,00%	100%
18/09/2016	48DST	6638	5870	546	21,6	72,00%	100%
20/09/2016					22,2	74,00%	100%
13/09/2016					12,1	40,33%	100%
18/09/2016	24AD	6376	5401	575	21,7	72,33%	100%
20/09/2016					28,8	96,00%	100%
22/09/2016					8,1	27,00%	75%
26/09/2016	31H	6556	5930	862	20	66,67%	100%
28/09/2016					16,1	53,67%	100%
22/09/2016					25,5	85,00%	100%
26/09/2016	42I	6973	5967	348	33,2	110,67%	100%
22/09/2016					16,4	54,67%	100%
26/09/2016	48D	6850	5805	596	23,7	79,00%	100%
28/09/2016					20,7	69,00%	100%
27/09/2016					25,7	85,67%	100%
1/10/2016	36D	6962	5966	397	35,3	117,67%	100%
27/09/2016					19,8	66,00%	100%
2/10/2016	24BD	8981	5986	546	27,4	91,33%	100%
4/10/2016					28,1	93,67%	100%
27/09/2016					23,5	78,33%	100%
1/10/2016	55D	101	523	523	36	120,00%	100%
4/10/2016					13	43,33%	80%
10/10/2016	35	6384	5395	523	30,9	103,00%	80%
4/10/2016	42D	7660	6142	348	26	86,67%	100%

10/10/2016					28,5	95,00%	100%
13/10/2016					34,6	115,33%	100%
14/10/2016	24BD	7581	6450	497	32	106,67%	100%
14/10/2016					12,2	40,67%	100%
18/10/2016	24BD	6996	5982	546	18,8	62,67%	100%
20/10/2016					27,2	90,67%	100%
25/10/2016					15	50,00%	100%
27/10/2016					15,6	52,00%	100%
21/10/2016					14,8	49,33%	100%
25/10/2016	22NFDS	7475	O459	370	27	90,00%	100%
27/10/2016					25,6	85,33%	100%
28/10/2016					24,4	81,33%	100%
2/11/2016	27AI	6829	5907	730	28,2	94,00%	100%
4/11/2016					29,9	99,67%	100%
28/10/2016					25,8	86,00%	100%
2/11/2016	34D	6991	6859	646	25,8	86,00%	100%
4/11/2016					26,1	87,00%	100%
4/11/2016					6,7	22,33%	100%
6/11/2016	31H	7975	6363	862	24,0	80,00%	100%
8/11/2016					22,8	76,00%	100%
6/11/2016					12,5	41,67%	100%
8/11/2016					21,0	70,00%	100%
16/11/2016	35D	7522	6789	523	25,2	84,00%	100%
14/11/2016					30,8	102,67%	100%
9/11/2016					21,8	72,67%	100%
14/11/2016	48D	7048	6097	546	22,3	74,33%	100%
18/11/2016					29,9	99,67%	100%
17/11/2016					15,7	52,33%	100%
24/11/2016	4DT	8283	7117	993	21,8	72,67%	100%
30/11/2016					24,7	82,33%	100%
17/11/2016	24BD	7847	6828	497	26	86,67%	100%

21/11/2016					34,9	116,33%	50%
22/11/2016					18,7	62,33%	100%
28/11/2016	34I	8444	7254	546	23,3	77,67%	100%
1/12/2016					34,8	116,00%	100%
22/11/2016					18,5	61,67%	100%
27/11/2016	NS40DPD	7882	8638	370	23,9	79,67%	100%
29/11/2016					24,3	81,00%	100%
22/11/2016					21,4	71,33%	100%
1/12/2016	42D	7922	6825	348	34,9	116,33%	100%
2/11/2016	24BD	8700	7433	497	34,5	115,00%	100%
2/11/2016	27AIS	4754	4145	730	31,2	104,00%	100%
10/12/2016					20,3	67,67%	100%
13/12/2016	31H	8928	7764	862	29,3	97,67%	100%
15/12/2016					31,1	103,67%	100%
10/12/2016					19,3	64,33%	100%
13/12/2016	48DST	8782	7494	546	25,2	84,00%	100%
15/12/2016					27,2	90,67%	100%
10/12/2016	24AD	8957	7608	575	31,3	104,33%	100%
15/12/2016					24,4	81,33%	100%
20/12/2016	34D	8981	7715	646	34,6	115,33%	100%
15/12/2016	NS60D	9235	7822	462	30,2	100,67%	100%
26/12/2016					27,3	91,00%	100%
28/12/2016	NS40IPD	7903	7303	370	35,6	118,67%	100%
26/12/2016					20,5	68,33%	100%
28/12/2016	48I	9338	8134	546	30,7	102,33%	100%
29/12/2016					21,2	70,67%	100%
4/01/2017	24BD	9698	8395	546	31,3	104,33%	100%
29/12/2016					27,8	92,67%	100%
4/01/2017	36D	9503	8261	397	40,7	135,67%	100%
29/12/2016					35,3	117,67%	100%
7/01/2017	42D	9296	8092	348			
	NS40DPD	9797	8437	370	29,7	99,00%	100%

7/01/2017					20	66,67%	95%
10/01/2017	48D	7941	6831	497	24	80,00%	95%
12/01/2017					28,5	95,00%	95%
15/01/2017	27AIS	9741	8454	680	10,2	34,00%	95%
18/01/2017					30,1	100,33%	100%
15/01/2017	4DT	9910	8682	993	10,6	35,33%	95%
18/01/2017					36,3	121,00%	100%
21/01/2017	65I	8735	7546	680	22,7	75,67%	50%
23/01/2017					33,5	111,67%	100%
21/01/2017	34D	OO11	OO45	546	34,2	114,00%	100%
28/01/2017	4DT	8284	OO97	836	20,4	68,00%	100%
30/01/2017					32,9	109,67%	100%
28/01/2017	24BI	O318	O230	497	38,2	127,33%	100%
3/02/2017					14,2	47,33%	100%
5/02/2017	27AD	O357	O329	730	25,4	84,67%	100%
7/02/2017					30,5	101,67%	100%
3/02/2017	48DST	9849	8486	546	29	96,67%	100%
23/02/2017	24BD	8840	7498	497	27,6	92,00%	100%
25/02/2017					39,2	130,67%	100%
23/02/2017	NS40DPD	O832	O817	370	22,5	75,00%	100%
25/02/2017					31,1	103,67%	100%
5/03/2017					22,6	75,33%	100%
7/03/2017	NS40IPD	1255	1057	370	29,4	98,00%	100%
9/03/2017					31,9	106,33%	100%
5/03/2017	24BD	1187	1078	497	35,8	119,33%	100%
5/03/2017	36D	1144	O934	397	28,9	96,33%	100%
12/03/2017	34I	1622	1316	646	29,6	98,67%	100%
12/03/2017	24BI	2429	2111	546	34,8	116,00%	100%
17/03/2017	65I	1667	1180	680	38,7	129,00%	100%
21/03/2017					6,5	21,67%	100%
24/03/2017	48IST	1793	1609	546	28,4	94,67%	100%

26/03/2017					30,1	100,33%	100%
24/03/2017	NS60I	2036	1494	462	30,2	100,67%	100%
29/03/2017					25,5	85,00%	100%
1/04/2017	48I	O675	O618	596	28,6	95,33%	100%
3/04/2017					31,8	106,00%	100%
29/03/2017	42D	2008	1614	348	31,3	104,33%	100%
10/04/2017					11,6	38,67%	100%
12/04/2017	27AD	2366	1719	680	21	70,00%	100%
14/04/2017					25,5	85,00%	100%
10/04/2017	24BD	2117	1755	447	30,3	101,00%	100%
10/04/2017	55D	1903	1634	523	39,6	132,00%	100%
14/04/2017					10,6	35,33%	100%
16/04/2016	48DST	2318	1822	546	26,9	89,67%	100%
18/04/2016					28,8	96,00%	100%
14/04/2017	36D	2116	1699	348	31,2	104,00%	100%
21/04/2017	4DBTSC	2783	2723	821	45	150,00%	100%
21/04/2017					17,2	57,33%	100%
23/04/2017	48I	2634	2144	497	27,7	92,33%	100%
25/04/2017					26,2	87,33%	100%
21/04/2017	NS40DPD	2756	1944	370	23,9	79,67%	100%
23/04/2017					32	106,67%	100%
28/04/2017	24AD	2954	496	575	28,5	95,00%	100%
28/04/2017	34D	2969	2564	546	32,8	109,33%	50%
3/05/2017	24BDST	2859	2295	497	28,4	94,67%	100%
5/05/2017					33,6	112,00%	100%
3/05/2017	NS40DPD	3168	3606	370	23,5	78,33%	100%
5/05/2017					32,9	109,67%	100%
11/05/2017					12,5	41,67%	100%
13/05/2017	31HP	3374	2699	862	21,6	72,00%	100%
15/05/2017					29,2	97,33%	100%
11/05/2017	27ADS	3236	2746	680	20,2	67,33%	100%

13/05/2017					23,1	77,00%	100%
15/05/2017					13,3	44,33%	100%
17/05/2017	48I	3309	2732	546	28,7	95,67%	100%
17/05/2017	34I	3501	3081	646	16,5	55,00%	100%
19/05/2017					33,8	112,67%	100%
23/05/2017	36D	3604	3039	397	36,2	120,67%	100%
23/05/2017	48D	2721	2725	596	26,6	88,67%	100%
25/05/2017					35	116,67%	100%
23/05/2017					13	43,33%	100%
25/05/2017	27AI	3745	3302	575	35	116,67%	100%
2/06/2017	36D	3900	3898	397	35,6	118,67%	100%
2/06/2017	NS40DPD				22,6	75,33%	100%
4/06/2017		3816	2850	370	33,5	111,67%	100%
9/06/2017	4DT	4248	3770	856	45	150,00%	100%
9/06/2017	34	4133	3497	646	29,2	97,33%	100%
16/06/2017	65I	4535	3710	680	39,7	132,33%	100%
16/06/2017	42D	4523	3935	348	40,1	133,67%	100%
23/06/2017	NS60I				26,8	89,33%	100%
25/06/2017		4637	3849	462	32,7	109,00%	100%
23/06/2017					26,9	89,67%	100%
25/06/2017	48D	4269	3759	497	42,8	142,67%	100%
30/06/2017	24BD	4929	4154	497	31,6	105,33%	95%
30/06/2017	24BD	4649	3966	497	36,2	120,67%	100%
21/08/2017	NS40DPD				11,8	39,33%	50%
25/08/2017		5563	4626	370	30,7	102,33%	100%
21/08/2017	42D	6267	4250	497	31,4	104,67%	100%
29/08/2017	4DBTI	6683	6687	872	32,9	109,67%	100%
29/08/2017	27A	6212	5359	575	34,5	115,00%	100%
6/09/2017	36D	6275	5496	397	39,5	131,67%	95%
6/09/2017	55DD	6455	5625	523	42,1	140,33%	90%
13/09/2017	24BD	6914	5973	497	31	103,33%	90%

13/09/2017	NS40DPD	7057	6252	370	22	73,33%	90%
15/09/2017					30	100,00%	100%
22/09/2017	34I	7275	6304	646	20,6	68,67%	100%
26/09/2017					32,7	109,00%	100%
22/09/2017	31H	7331	6007	862	26,4	88,00%	95%
24/09/2017					30,6	102,00%	95%
29/09/2017	27ADS	7535	6639	680	8,5	28,33%	100%
3/09/2017					9,7	32,33%	100%
29/09/2017	48IST	7257	6446	546	15,9	53,00%	100%
1/10/2017					8,7	29,00%	100%
3/09/2017					20	66,67%	100%
3/10/2017					10	33,33%	100%
5/10/2017	27D	7303	6791	575	15,5	51,67%	100%
7/10/2017					18,2	60,67%	100%
3/10/2017	4DBTSC	7446	7589	821	35	116,67%	100%

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 2

Resultados para Capacidad de Reserva

ENSAYOS ELECTRICOS 2016-2017									
FECHA	REF	(+)	(-)	CR (MIN)	CR (MIN)	% CR	PESO (ESP)	PESO	% PESO
7/01/2016	24BD	8918	7733	45	40,86	0,91	76	53,96	0,71
9/01/2016	24BD	8918	7733	45	42,04	0,93	76	53,20	0,70
11/01/2016	24BD	8918	7733	45	40,26	0,89	76	53,20	0,70
7/01/2016	24BD	8917	7727	45	39,67	0,88	76	52,44	0,69
9/01/2016	24BD	8917	7727	45	40,26	0,89	76	53,20	0,70
11/01/2016	24BD	8917	7727	45	40,86	0,91	76	56,24	0,74
8/01/2016	24BD	9102	8032	55	50,27	0,91	76	57,00	0,75
14/01/2016	22NFDS	O257	O241	60	50,32	0,84	93	57,66	0,62
28/01/2016	NS60I	8636	7478	79	68,61	0,87	93	64,17	0,69
2/02/2016	NS60I	8636	7478	79	72,76	0,92	93	69,75	0,75
4/02/2016	31H	O158	OO40	179	162,89	0,91	110	84,70	0,77
13/02/2016	48D	O449	O279	96	88,42	0,92	88	66,00	0,75
15/02/2016	35	7330	7691	101	94,36	0,93	76	60,04	0,79
19/02/2016	35	7330	7691	101	89,89	0,89	76	52,44	0,69
9/03/2016	35	7330	7691	101	91,82	0,91	76	53,96	0,71
17/03/2016	65I	O337	O353	137	126,18	0,92	88	59,84	0,68
21/03/2016	34I	O215	O145	117	104,13	0,89	76	59,28	0,78
23/03/2016	34I	O215	O145	117	109,00	0,93	76	55,52	0,73
28/03/2016	34I	O215	O145	117	101,61	0,87	76	43,32	0,57
30/03/2016	NS40I	8796	7567	60	53,40	0,89	93	71,61	0,77
1/04/2016	NS40I	8796	7567	60	51,00	0,85	93	74,40	0,80
7/04/2016	31H	O741	O748	140	116,14	0,83	110	98,76	0,90
15/06/2016	31H	O741	O748	140	130,79	0,93	110	96,34	0,88

19/06/2016	48I	O657	O548	96	87,16	0,91	88	77,07	0,88
21/06/2016	24BD	1126	1043	86	79,21	0,92	76	66,56	0,88
22/06/2016	24BD	O698	O700	55	46,32	0,84	76	52,44	0,69
27/06/2016	24AD	1495	O712	113	102,83	0,91	88	72,16	0,82
29/06/2016	24AD	1496	O713	113	101,70	0,90	88	69,52	0,79
7/07/2016	24AD	1497	O714	113	98,42	0,87	88	55,44	0,63
9/07/2016	24BD	1613	1341	86	78,60	0,91	76	61,56	0,81
11/07/2016	24BD	1613	1341	86	75,68	0,88	76	49,40	0,65
12/07/2016	24BD	1613	1341	86	77,40	0,90	76	58,52	0,77
3/08/2016	NS40IPD	O473	O776	60	54,19	0,90	93	77,19	0,83
8/08/2016	NS40IPD	O473	O776	60	51,61	0,86	93	72,54	0,78
10/08/2016	NS40IPD	O473	O776	60	52,26	0,87	93	63,24	0,68
23/08/2016	36D	1833	1661	55	50,60	0,92	76	60,27	0,79
24/08/2016	36D	1833	1661	55	50,86	0,92	76	55,48	0,73
26/08/2016	36D	1833	1661	55	47,30	0,86	76	51,68	0,68
9/09/2016	24BD	8832	7762	96	84,65	0,88	76	52,44	0,69
15/09/2016	24BD	1534	1249	65	55,25	0,85	76	65,71	0,86
17/09/2016	24BI	1708	1485	45	40,05	0,89	76	58,52	0,77
22/09/2016	24BD	1821	1654	55	49,38	0,90	76	61,68	0,81
26/09/2016	24BI	2018	1646	45	39,38	0,88	76	50,16	0,66
28/09/2016	24BI	2018	1646	45	40,91	0,91	76	61,68	0,81
27/09/2016	24BI	2018	1646	45	39,67	0,88	76	65,51	0,86
2/10/2016	NS40IPD	2236	1985	60	55,26	0,92	93	81,55	0,88
14/10/2016	34I	2171	1911	68	61,74	0,91	76	63,42	0,83
18/10/2016	27AI	2194	1790	137	126,18	0,92	88	72,25	0,82
20/10/2016	27AI	2194	1790	137	124,38	0,91	76	63,27	0,83
21/10/2016	27AI	2194	1790	137	126,69	0,92	76	65,70	0,86
25/10/2016	48I	1706	1484	96	86,71	0,90	88	74,80	0,85
27/10/2016	48I	1706	1484	96	88,77	0,92	88	68,68	0,78
28/10/2016	24BI	2374	2118	76	72,00	0,95	76	67,29	0,89
2/11/2016	65I	2190	1815	137	121,00	0,88	88	77,91	0,89

4/11/2016	NS60D	2244	1982	79	71,00	0,90	93	82,34	0,89
4/11/2016	24AD	O522	1096	125	115,06	0,92	88	76,69	0,87
22/11/2016	24BI	2921	2521	86	76,75	0,89	76	65,65	0,86
27/11/2016	27AI	3093	O335	113	98,42	0,87	88	76,02	0,86
29/11/2016	36D	3849	3370	65	58,00	0,89	76	65,65	0,86
15/12/2016	36D	3849	3370	65	59,01	0,91	76	67,41	0,89
29/12/2016	36D	3849	3370	65	58,16	0,89	76	59,49	0,78
4/01/2017	24BIST	3645	3441	86	80,34	0,93	76	68,16	0,90
6/01/2017	24BIST	3645	3441	86	78,08	0,91	76	62,15	0,82
29/12/2016	24BIST	3645	3441	86	80,34	0,93	76	68,14	0,90
4/01/2017	NS40DPD	4543	3810	60	55,26	0,92	93	69,34	0,75
6/01/2017	NS40DPD	4543	3810	60	50,00	0,83	93	67,30	0,72
7/01/2017	NS40DPD	4543	3810	60	51,61	0,86	93	78,15	0,84
10/01/2017	NS40DPD	5087	4363	60	49,68	0,83	93	78,15	0,84
12/01/2017	NS40DPD	5495	4787	60	51,61	0,86	93	78,15	0,84
15/01/2017	NS40DPD	5495	4787	60	54,55	0,91	93	50,11	0,54
23/02/2017	NS40DPD	5495	4787	60	50,32	0,84	93	80,60	0,87
25/02/2017	22NFDS	5907	4576	60	49,03	0,82	93	83,48	0,90
5/03/2017	22NFDS	5907	4576	60	52,90	0,88	93	81,24	0,87
17/03/2017	22NFDS	5907	4576	60	53,45	0,89	93	81,54	0,88
19/03/2017	NS40DPD	6114	5505	60	51,27	0,85	93	55,96	0,60
21/03/2017	NS40DPD	6114	5505	60	52,36	0,87	93	49,41	0,53
14/04/2017	NS40DPD	6114	5505	60	55,23	0,92	93	80,06	0,86
16/04/2016	48D	6850	5805	107	93,63	0,88	88	69,52	0,79
18/04/2016	48D	6850	5805	107	97,27	0,91	88	73,01	0,83
21/04/2017	48D	6850	5805	107	99,22	0,93	88	67,57	0,77
21/04/2017	24BD	8981	5986	96	83,61	0,87	76	47,12	0,62
23/04/2017	24BD	8981	5986	96	81,55	0,85	76	67,80	0,89
25/04/2017	24BD	6996	5982	96	80,52	0,84	76	49,40	0,65
9/06/2017	24BD	6996	5982	96	85,89	0,89	76	50,16	0,66
11/09/2017	24BD	6996	5982	96	88,42	0,92	76	66,46	0,87

13/06/2017	22NFDS	7475	O459	60	56,05	0,93	93	77,62	0,83
21/08/2017	22NFDS	7475	O459	60	50,97	0,85	93	70,94	0,76
25/08/2017	22NFDS	7475	O459	60	49,68	0,83	93	67,89	0,73
6/09/2017	34D	6991	6859	117	103,14	0,88	76	54,72	0,72
11/09/2017	34D	6991	6859	117	104,68	0,89	76	60,18	0,79
13/10/2017	34D	6991	6859	117	110,84	0,95	76	64,57	0,85
1/12/2017	27AI	8057	6786	137	121,43	0,89	88	73,09	0,83
3/12/2017	NS40DPD	7882	8638	60	51,82	0,86	93	80,45	0,87
5/12/2017	NS40DPD	7882	8638	60	53,86	0,90	93	76,59	0,82
1/12/2017	NS40DPD	7882	8638	60	56,59	0,94	93	72,82	0,78
3/12/2017	34D	8981	7715	117	105,03	0,90	76	62,55	0,82
5/12/2017	24BD	9698	8395	96	87,27	0,91	76	58,16	0,77
7/12/2017	24BD	9698	8395	96	86,71	0,90	76	60,93	0,80
11/12/2017	24BD	9698	8395	96	83,61	0,87	76	67,84	0,89
7/12/2017	36D	9503	8261	65	57,85	0,89	76	53,20	0,70
9/12/2017	36D	9503	8261	65	59,01	0,91	76	65,40	0,86
11/12/2017	36D	9503	8261	65	57,30	0,88	76	64,26	0,85
20/12/2017	NS40DPD	9797	8437	60	56,13	0,94	93	81,25	0,87
22/12/2017	NS40DPD	9797	8437	60	56,77	0,95	93	72,60	0,78
28/12/2017	NS40DPD	9797	8437	60	53,18	0,89	93	63,24	0,68
30/12/2017	27AIS	9741	8454	137	124,55	0,91	88	57,20	0,65
8/01/2016	55D	8521	7537	101	107,64	1,07	76	81,89	1,08
15/01/2016	24BI	9083	7907	86	90,62	1,05	76	70,14	0,92
21/01/2016	24BI	9083	7907	86	90,69	1,05	76	70,14	0,92
18/01/2016	27AD	O124	7942	137	167,94	1,23	88	82,91	0,94
21/01/2016	27AD	O125	7942	137	142,41	1,04	88	88,11	1,00
23/01/2016	27AD	O126	7942	137	146,01	1,07	88	83,58	0,95
21/01/2016	34I	9155	8045	117	127,78	1,09	76	72,18	0,95
26/01/2016	34I	9155	8045	117	126,31	1,08	76	75,94	1,00
26/01/2016	31H	O159	OO41	179	187,14	1,05	110	109,91	1,00
28/01/2016	31H	O160	OO42	179	191,20	1,07	110	109,91	1,00

4/02/2016	48D	O449	O279	96	104,84	1,09	88	80,76	0,92
6/02/2016	48D	O449	O279	96	109,89	1,14	88	80,76	0,92
5/02/2016	65I	O337	O353	137	141,98	1,04	88	97,50	1,11
13/02/2016	NS40I	8796	7567	60	64,36	1,07	93	103,04	1,11
5/02/2016	27AIS	O351	O414	137	148,21	1,08	88	97,50	1,11
9/02/2016	27AIS	O351	O414	137	151,01	1,10	88	88,47	1,01
11/02/2016	27AIS	O351	O414	137	147,90	1,08	88	88,47	1,01
26/02/2016	31H	O741	O748	140	147,95	1,06	110	110,58	1,01
24/02/2016	35	O957	O724	101	105,59	1,05	76	75,74	1,00
17/02/2016	24BD	8159	7251	55	58,13	1,06	76	75,74	1,00
19/02/2016	24BD	8159	7251	55	59,73	1,09	76	69,49	0,91
22/02/2016	31HP	4731	4048	179	198,25	1,11	110	100,58	0,91
3/02/2016	48D	1128	1019	86	96,17	1,12	88	80,46	0,91
7/02/2016	48D	1128	1019	86	91,86	1,07	88	89,48	1,02
3/02/2016	34D	O740	O590	117	122,32	1,05	76	77,28	1,02
7/02/2016	34D	O740	O590	117	128,97	1,10	76	77,28	1,02
9/03/2016	31H	1441	1151	179	187,14	1,05	110	104,41	0,95
13/03/2016	31H	1441	1151	179	193,65	1,08	110	104,41	0,95
15/03/2016	31H	1441	1151	179	190,39	1,06	110	104,41	0,95
17/03/2016	27AI	O765	O625	137	144,78	1,06	88	88,77	1,01
25/03/2016	27AI	O765	O625	137	151,42	1,11	88	95,92	1,09
27/03/2016	27AI	O765	O625	137	165,77	1,21	88	100,32	1,14
23/03/2016	48D	1504	1242	86	97,32	1,13	88	100,61	1,14
28/03/2016	48D	1504	1242	86	98,45	1,14	88	100,61	1,14
30/03/2016	55DD	1954	1594	101	114,29	1,13	76	86,89	1,14
23/03/2016	24BD	1831	1558	76	91,96	1,21	76	88,92	1,17
28/03/2016	24BD	1821	1654	55	56,25	1,02	76	80,62	1,06
14/04/2016	34I	2171	1911	68	74,18	1,09	76	80,62	1,06
20/04/2016	24BI	2020	1645	45	52,70	1,17	76	69,79	0,92
9/04/2016	48I	1706	1484	96	106,11	1,11	88	80,81	0,92
15/04/2016	65I	2190	1815	137	146,96	1,07	88	95,33	1,08

20/04/2016	24AD	2219	1896	113	121,22	1,07	88	95,33	1,08
27/04/2016	55DD	1961	1600	101	117,16	1,16	76	84,36	1,11
5/05/2016	24BI	2017	1637	45	49,09	1,09	76	70,04	0,92
6/05/2016	24BD	2166	1848	45	48,58	1,08	76	75,29	0,99
10/05/2016	24BI	2921	2521	86	87,95	1,02	76	72,56	0,95
5/05/2016	27AI	3092	O334	113	119,42	1,06	88	84,02	0,95
12/05/2016	27AI	3094	O336	113	123,27	1,09	88	84,02	0,95
11/05/2016	4DT	3142	2558	231	246,75	1,07	110	116,63	1,06
17/05/2016	4DT	3142	2558	231	257,25	1,11	110	116,63	1,06
19/05/2016	4DT	3142	2558	231	255,84	1,11	110	108,22	0,98
11/05/2016	8DT	2747	1298	284	320,65	1,13	107	105,27	0,98
17/05/2016	8DT	2747	1298	284	317,59	1,12	107	105,27	0,98
19/05/2016	8DT	2747	1298	284	317,63	1,12	107	106,10	0,99
19/05/2016	35	3011	2338	101	112,96	1,12	76	68,57	0,90
21/05/2016	35	3011	2338	101	115,62	1,14	76	68,57	0,90
19/05/2016	34I	3316	2867	96	104,84	1,09	76	68,57	0,90
21/05/2016	34I	3316	2867	96	102,32	1,07	76	70,17	0,92
23/05/2016	34I	3316	2867	96	111,16	1,16	76	77,06	1,01
25/05/2016	27AI	8151	7378	149	177,31	1,19	88	89,23	1,01
30/05/2016	27AI	8151	7378	149	169,83	1,14	88	97,68	1,11
3/06/2016	27AI	8151	7378	149	164,68	1,11	88	84,89	0,96
25/05/2016	48I	3573	3032	86	100,62	1,17	88	84,72	0,96
3/06/2016	24AD	3970	3278	113	127,87	1,13	88	84,72	0,96
7/06/2016	24AD	3970	3278	113	121,92	1,08	88	84,72	0,96
3/06/2016	31HP	3879	3133	179	182,85	1,02	110	107,40	0,98
7/06/2016	31HP	3879	3133	179	188,42	1,05	110	107,40	0,98
9/06/2016	31HP	3879	3133	179	195,49	1,09	110	107,40	0,98
8/06/2016	24BI	3534	3061	96	103,58	1,08	76	77,23	1,02
15/06/2016	27I	4153	3420	137	142,41	1,04	88	89,43	1,02
22/06/2016	24BD	4081	3483	86	88,26	1,03	76	77,23	1,02
28/06/2016	NS40D	4381	3815	60	63,95	1,07	93	88,70	0,95

2/07/2016	NS40D	4381	3815	60	67,20	1,12	93	94,86	1,02
4/07/2016	NS40D	4381	3815	60	73,20	1,22	93	107,88	1,16
28/06/2016	48I	4613	3926	86	105,78	1,23	88	101,20	1,15
2/07/2016	48I	4613	3926	86	104,06	1,21	88	99,44	1,13
4/07/2016	48I	4613	3926	86	101,48	1,18	88	102,96	1,17
10/07/2016	24BI	5335	4628	45	57,15	1,27	76	86,64	1,14
7/07/2016	24BD	4613	4037	65	76,05	1,17	76	88,92	1,17
12/07/2016	N100	4634	4258	140	156,56	1,12	88	95,92	1,09
14/07/2016	N100	4415	4261	140	161,00	1,15	88	94,16	1,07
16/07/2016	NS40DPD	4543	3810	60	71,40	1,19	93	106,95	1,15
8/07/2016	48IST	4456	3884	96	116,16	1,21	88	100,32	1,14
8/07/2016	48D	4873	4244	96	123,84	1,29	88	103,84	1,18
13/07/2016	65I	4341	3734	137	172,62	1,26	88	104,72	1,19
13/07/2016	24BD	6156	5115	86	104,06	1,21	76	84,36	1,11
12/07/2016	27AI	4933	4209	137	151,42	1,11	88	90,17	1,02
27/07/2016	36D	4447	3938	55	73,70	1,34	76	93,48	1,23
27/07/2016	55D	4448	3761	101	131,30	1,30	76	89,68	1,18
3/08/2016	24BD	4081	3486	86	106,64	1,24	76	84,36	1,11
10/08/2016	27AI	5708	4954	137	168,51	1,23	88	100,32	1,14
10/08/2016	42D	5849	5021	55	69,30	1,26	76	85,88	1,13
15/08/2016	31H	5651	4517	140	162,40	1,16	110	130,90	1,19
15/08/2016	34I	5773	4886	117	141,57	1,21	76	88,92	1,17
23/08/2016	24BD	5408	8471	45	53,10	1,18	76	92,07	1,21
30/08/2016	27I	5447	4445	77	97,79	1,27	88	105,60	1,20
30/08/2016	4DB	5802	5887	189	243,81	1,29	110	133,94	1,22
9/09/2016	34I	O764	O728	117	153,27	1,31	76	92,54	1,22
9/09/2016	27ADS	6650	5534	137	161,66	1,18	88	95,04	1,08
13/09/2016	NS60D	6108	7473	79	89,27	1,13	93	95,79	1,03
13/09/2016	48DST	6638	5870	96	106,11	1,11	88	89,19	1,01
13/09/2016	24AD	6376	5401	113	123,41	1,09	88	89,76	1,02
22/09/2016	31H	6556	5930	179	198,69	1,11	110	114,40	1,04

22/09/2016	42I	6973	5967	55	62,70	1,14	76	85,61	1,13
27/09/2016	36D	6962	5966	65	78,00	1,20	76	85,61	1,13
27/09/2016	55D	101	523	101	118,17	1,17	76	87,40	1,15

Fuente: Elaboración propia.